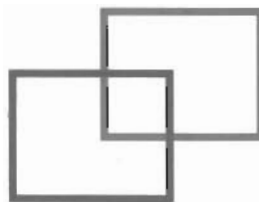


ISSN 1907-187X

JURNAL PRESIPITASI



**Media
Komunikasi dan Pengembangan
Teknik Lingkungan**

Diterbitkan oleh : Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik UNIVERSITAS DIPONEGORO

0000454

Vol.4
No.01
Maret
2008

UPT PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO

Jurnal Presipitasi	Vol.4	No.1	Hlm.1-91	Maret 2008	ISSN 1907-187X
--------------------	-------	------	----------	------------	----------------

JURNAL PRESIPITASI

Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan
(Terbit dua kali dalam setahun, Bulan Maret dan September)

Ketua Dewan Redaksi:
Ir. Syafrudin, CES, MT

Penasehat:
Prof. Ir. Eko Budihardjo, MSc
Prof. Sudharto P. Hadi, PhD
Dr. Ir. Setia Budi Sasongko, DEA

Dewan Redaksi:
Badrus Zaman, ST, MT
Nurandani Hardyanti, ST, MT
Ir. Winardi Dwi Nugraha, MSi
Haryono Setiyo Huboyo, ST, MT
Mochamad Arief Budihardjo, ST, M.EngSc

Mitra Bestari:
Dr. Istadi, ST, MT
Dr. Ir. Purwanto, DEA

Bendahara:
Sri Sumiyati, ST, MSi

Administrasi:
Widayatno

Diterbitkan oleh :
Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Diterbitkan pertama kali pada September 2006

Alamat Penyunting
Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik UNDIP Kampus Tembalang Semarang (50255)
Telp/fax. 024-76480678
Email: presipitasi@yahoo.com

Penyunting menerima sumbangan tulisan yang belum pernah diterbitkan dalam media lain dengan format seperti tercantum pada pedoman penulisan di halaman kulit belakang. Naskah yang masuk disunting dan dievaluasi untuk keseragaman.

JURNAL PRESIPITASI

Volume 4 Nomor 1 Maret Tahun 2008

Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan

KATA PENGANTAR

Jurnal PRESIPITASI Volume 4 Nomor 1 Maret Tahun 2008 merupakan edisi pertama di tahun 2008. Artikel-artikel yang termuat adalah artikel-artikel yang telah melalui proses penilaian oleh Tim Reviewer (Mitra Bestari). Jumlah artikel yang terbit pada edisi ini sebanyak 14 artikel.

Dewan redaksi akan berusaha meningkatkan mutu jurnal sehingga dapat menjadi acuan dalam perkembangan media komunikasi dan pengembangan di bidang teknik lingkungan.

Penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada Tim Reviewer (Mitra Bestari) dan seluruh pihak yang terlibat dalam penerbitan jurnal ini.

Salam,
Ketua Dewan Redaksi

JURNAL PRESIPITASI**Volume 4 Nomor 1 Maret 2008****DAFTAR ISI**

	Halaman
PEMETAAN SPASIAL SEBAGAI DASAR ANALISIS KONDISI HEWAN MAKROBENTOS AKIBAT BUANGAN AIR LIMBAH PLTU-PLTGU (STUDI KASUS: PLTU-PLTGU TAMBAK LOROK, SEMARANG) Badrus Zaman, Haryono Setiyo Huboyo	1-8
NORMALISASI SUNGAI (SALURAN) KALIGAWA SEMARANG DAN PENGARUHNYA TERHADAP LINGKUNGAN SEKITAR DITINJAU DARI TEORI PERENCANAAN Budi Prasetyo Samadikun	9-16
CLUSTERING DATA PENCEMARAN UDARA SEKTOR INDUSTRI DI JAWA TENGAH DENGAN KOHONEN NEURAL NETWORK Budi Warsito, Dwi Ispriyanti, Henny Widayanti	17-22
PENGARUH POROSITAS DAN PERMEABILITAS TANAH SERTA JARAK TANGKI SEPTIK TERHADAP KONSENTRASI BAKTERI <i>ESCHERICHIA COLI</i> DALAM AIR TANAH DANGKAL DI WILAYAH PESISIR (STUDI KASUS: PESISIR SEMARANG UTARA) Irawan Wisnu Wardhana, Badrus Zaman	23-29
PENGARUH GRADIEN KECEPATAN (G) DAN <i>DISSOLVED OXIGEN</i> (DO) TERHADAP PENYISIHAN COD DAN NH_3 DENGAN <i>SIMULTANEOUS NITRIFICATION DENITRIFICATION</i> (SND) PADA SISTEM LUMPUR AKTIF (<i>ACTIVATED SLUDGE</i>) Junaldi	30-36
STUDI PEMILIHAN CALON LOKASI TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR SAMPAH KABUPATEN PEMALANG Nurandani Hardyanti, Syafrudin	37-42
DESAIN SISTEM PENYALURAN DAN PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK DENGAN KOMBINASI TEKNOLOGI <i>UP FLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET</i> DAN <i>DOWN FLOW</i> <i>HANGING SPONGE</i> PERUM PERUMAS BOGOR UTARA KOTA BOGOR Nasrullah	43-47
PENERAPAN <i>RECYCLE, REUSE DAN RECOVERY</i> (3R) LIMBAH BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN SECARA <i>OFF-SITE</i> PT. PENGELOLA LIMBAH INDUSTRI BATAM (PLIB) JAKARTA Sri Sumiyati, Milda Restuti Iriany	48-55
POLA PENYEBARAN LIMPASAN LOGAM LINDI TPA JATIBARANG PADA AIR SUNGAI KREO Wiharyanto Oktiawan, Ika Bagus Priyambada	56-61
PENGARUH PENCAampurAN LUMPUR TINJA PADA PENGOMPOSAN SAMPAH ORGANIK (STUDI KASUS TPA JERUKLEGI KABUPATEN CILACAP) Mochammad Arief Budihardjo, Cahyo Harsanto	62-68
SEWAGE SLUDGE GASIFICATION CASE STUDY IN RURAL INDIA Sri Hapsari Budisulistiorini	69-74
PENURUNAN KONSENTRASI LOGAM BERAT CU DAN AG PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI PERAK RUMAH TANGGA DENGAN METODE ELEKTROKOAGULASI Mochtar Hadiwidodo	75-79
ASPEK SOSIAL PENGELOLAAN SANITASI DI PELABUHAN (STUDI KASUS: PENGELOLAAN SANITASI DI PELABUHAN TANJUNG INTAN CILACAP) Maryono, Yusus Jayusman	80-84
DETAIL DESAIN SISTEM PENYEDIAAN AIR BERSIH MENGGUNAKAN SUMBER MATA AIR (STUDI KASUS : DAS CITARIK, KECAMATAN CIMANGGUNG, KABUPATEN SUMEDANG) Winardi Dwi Nugraha, Wiharyanto Oktiawan	85-91

PEMETAAN SPASIAL SEBAGAI DASAR ANALISIS KONDISI HEWAN MAKROBENTOS AKIBAT BUANGAN AIR LIMBAH PLTU-PLTGU (STUDI KASUS: PLTU-PLTGU TAMBAK LOROK, SEMARANG)

Badrus Zaman^{*)}, Haryono Setiyo Huboyo^{*)}

ABSTRACT

On the operation of Electric Power Plant at Tambak Lorok Central Java discharged thermal water to harbour pond. One of the effect is to zoomacroenthos. Mapping is one of the system to result spatial picture with objective, informatif, and easier to analize. Sampling at 14 points in pond and 2 points for control in outer pond with purposive sampling method. Sampling frequency done by 4 (four) different times with interval time is 7 (seven) days. Then, data input to Surfer Programme (version 7.0) The Result of this research found 7 (seven) classes of zoomacroenthos with sequence individual amount are: Bivalvia > Crustacea > Gastropoda > Polychaeta > Stelleroidae > Decapoda > Holothuroidae. Diversity index pattern shown at thermal water discharge channel (at position 437083.8; 9232891) had low out come (<0.6) and then increases with increasing distance from thermal water discharge channel (until >1.1) but in centre harbour pond the value decrease until less than 0.6. At near break water, the value of diversity index gain to 0.85. All condition in harbour pond shown medium until worse pollution criteria. Significant corelation of temperature pattern with diversity index and similarity index just shown at surrounding thermal water discharge channel. This condition not only caused by moment temperature pattern but affected by continue thermal water dlscharged from electric power plant and eventually by other factor such as benthic substrat, current celerity, water depth, water clearly, salinity, pH, Dissolved Oxygen, Nitrogen, and Phospor.

Keywords: Thermal Pollution, Temperature, Zoomacroenthos, Diversity Index, Similarity Index, Mapping

LATAR BELAKANG

Pada pelaksanaan operasional PLTU-PLTGU di Tambak Lorok Jawa Tengah dihasilkan air limbah panas secara langsung ke badan air akan meningkatkan temperatur sekitarnya. Hal tersebut dapat menyebabkan pengaruh terhadap faktor fisika berupa pengaruh terhadap densitas, viskositas, tekanan uap, dan kelarutannya. Pengaruh terhadap faktor kimia berupa perubahan kesetimbangan kimia, kecepatan reaksi, aktivitas mikroba, timbulnya bau, perubahan rasa, dan penurunan salinitas. Pengaruh terhadap faktor biologi berupa penurunan oksigen terlarut, kegagalan pemijahan, kematian organisme muda, rantai makanan yang terputus, penurunan daya tahan terhadap racun, pemangsaan oleh predator yang lebih toleran terhadap perubahan suhu, meningkatnya proses metabolisme sel, dan kompetisi hidup dengan spesies lain yang lebih toleran (Thayib, 1994; Neves dan Laurencio, 1996; Ratterman, 2003;

www.encarta.com, 2004; www.willamette.edu, 2004; www.discoverycube.org, 2004; www.polmar.com, 2004).

Untuk dapat mengevaluasi dan menginterpretasikan kualitas lingkungan disekitar lokasi pembuangan air limbah tersebut secara obyektif dan informatif. Konsekuensinya diperlukan suatu *tool* yang dapat digunakan secara obyektif dalam mengevaluasi dan menginterpretasikan data hasil monitoring penyebaran air limbah dan pengaruhnya terhadap kondisi hewan makrobentos adalah dengan sistem yang mampu menampilkan hasil secara spasial dalam bentuk gambar yang obyektif dan informatif. (Neumann, *et al.*, 2003; Maurer, *et al.* 2000). Program komputer yang dapat digunakan untuk proses tersebut adalah Surfer (Keckler, 1995).

Pencemaran Air Limbah Panas

Pencemaran air limbah panas (*thermal pollution*) adalah masukan dalam

^{*)} Program Studi Teknik Lingkungan FT Undip
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang Semarang

jumlah besar air yang mengalami pemanasan dari satu atau sejumlah industri yang menggunakan sumber yang sama sehingga temperatur airnya melebihi kondisi normalnya serta dapat menyebabkan efek merugikan pada kehidupan perairannya (Neves dan Lourenco 1996; GEMET, 2000; explosive Dictionary, 2001; Ratterman, 2003; www.willamette.edu, 2004; www.Discoverycube.org, 2004; mathInScience.info, 2004, Anonymous, 2004).

Pengaruh biologi berkaitan dengan karakteristik optimum dalam air yang menjadi dasar sistem ekologi. Misalnya temperatur yang tidak mematikan ikan atau kerang dapat memberikan efek dalam metabolisme, reproduksi atau pertumbuhan seperti berkurangnya organisme makanan yang akan mengganggu sistem keseimbangan karena kompleksnya sistem alami akan menyesatkan untuk menggeneralisir efek temperatur terhadap biota akuatik sehingga lebih tepat untuk mempelajari spesies lokal yang penting.

Temperatur secara langsung memberikan efek fisiologis pada ikan yang hanya berada pada temperatur $0,5-10^{\circ}\text{C}$ dari temperatur alami dan temperatur eksternal harus sesuai dengan temperatur internal yang diperlukan meskipun individu spesies bervariasi terhadap efek temperatur. Hal ini terjadi karena laju metabolisme naik sejalan dengan kenaikan temperatur sampai batas lethalnya yang bervariasi dan dipengaruhi oleh tingkat oksigen dan salinitas. Penurunan oksigen terlarut dan kenaikan laju metabolisme dapat berkombinasi yang membuat lingkungan kurang sesuai bagi kehidupan ikan.

Perubahan temperatur yang bertahap lebih baik ditoleransi daripada yang mendadak. Perubahan laju tersebut dapat menjadi indikator untuk migrasi pemijahan (*spawning migration*) dan mempengaruhi perkembangan embrio) karena inkubasi telur dan perkembangan masa anak-anak adalah masa kritis dan sensitif terhadap temperatur.

Temperatur air yang lebih hangat menyebabkan organisme perairan mengalami peningkatan laju respirasi dan peningkatan konsumsi oksigen serta lebih mudah terkena penyakit, parasite, dan bahan kimia beracun. Pembuangan air panas ke perairan yang dangkal dekat

pantai juga menyebabkan kegagalan pemijahan (*spawning*) dan membunuh ikan-ikan muda. Ikan dan organisme lain yang mampu beradaptasi pada range temperatur yang lebih besar pun dapat pula mengalami kematian oleh adanya panas yang mendadak (*thermal shock*) (Neves dan Lourenco, 1996; www.Encarta.com, 2004; www.willamette.edu, 2004; www.discoverycube.org, 2004; www.polmar.com, 2004).

Hewan Makrobentos

Laevastu dan Taivo, 1996 menyatakan bahwa ekosistem benthik terdiri dari berbagai tumbuhan dan hewan yang paling banyak menghabiskan hidupnya di atas atau di dalam substrat dasar. Menurut Odum (1971) hewan makrobentos merupakan binatang yang berhabitat di sedimen atau hidup di atas atau di dalam substrat dasar yang lain di air tawar, estuarine, dan ekosistem laut. Sepanjang hidup atau bagian dari daur hidupnya organisme ini dapat membentuk tempat berlindung, lubang, atau jaring sebagai tempat hidupnya. Komunitas hewan makrobentos hidup di permukaan dasar perairan baik yang melekat, merayap, membenamkan diri atau membuat lubang pada dasar perairan. Makroinvertebrata dapat didefinisi dengan kasad mata dan tertahan pada sieve nomor 30 (0.595 mm) (Anonymous, 1995) atau tertahan pada sieve ≥ 200 sampai 500 μm , meskipun tingkat hidup yang lebih awal beberapa spesies makroinvertebrata lebih kecil dari ukuran tersebut (Rosenberg dan Resh, 1992).

Pada dasarnya hewan benthik terbagi menjadi dua yaitu hewan yang hidup di atas permukaan sedimen disebut dengan *epibenthic* atau *epifaunal* dan hewan yang hidup dalam sedimen disebut *infaunal* atau kadang-kadang disebut *sedimentary* (Meadows dan Campbell, 1988).

Kebanyakan predator dasar dan pemakan bangkai merupakan anggota tetap bentos dan kadang dimakan oleh benthik konsumen (Sumich, 1992).

Menurut Nybakken, 1988; Meadows dan Campbell, 1988; Sumich, 1992; Laevastu dan Taivo, 1996, bahwa faktor lingkungan yang mempengaruhi kehidupan hewan makrobentos meliputi faktor fisika dan kimia. Faktor fisika yang berperan adalah substrat dasar, kecepatan arus,

kedalaman, dan temperatur. Adapun faktor-faktor kimia adalah salinitas, derajat, keasaman (pH), Oksigen terlarut (DO), Nitrogen dan Fosfor

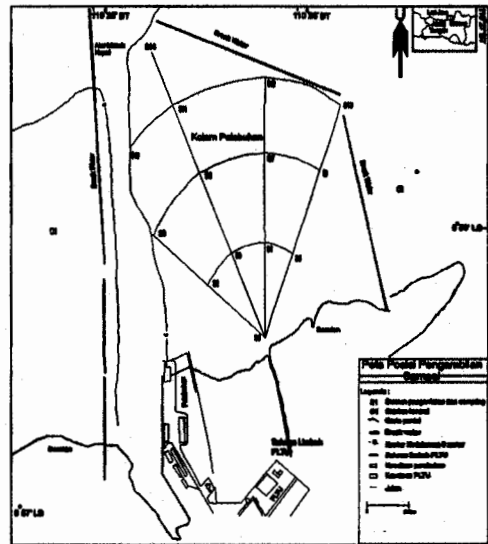
Program Surfer

Menurut Keckler (1995) Surfer merupakan program komputer yang berdasar pada grid untuk menghasilkan kontur dan gambar permukaan tiga dimensi yang di jalankan dengan program windows. Surfer versi 7.0 dapat menginterpolasi data XYZ yang tidak beraturan ke dalam bentuk grid beraturan yang digunakan untuk menghasilkan peta-peta kontur dan plot-plot permukaan. File-file United States Geological Survey Digital Elevation Model (USGS DEM) juga dapat digunakan untuk membuat peta kontur dan permukaan serta untuk berbagai pengoperasian surfer. Peta-peta hasil surfer dapat dikembangkan dengan penambahan informasi pembatas, titik-titik data, kombinasi beberapa peta, penambahan gambar ke dalam peta, penandaan peta dengan teks, penempatan beberapa peta menjadi satu halaman, dan overlay peta.

METODE PENELITIAN

Sampling dilakukan dengan metode purposif sampling yaitu pengambilan sampel yang tidak didasarkan pada strata, random, atau daerah tetapi berdasarkan pertimbangan tertentu dan tujuan dari penelitian yang dimaksudkan. Pengambilan sampel dilakukan dengan survey sample method yang merupakan pengumpulan data yang mencatat sebagian kecil anggota populasi tetapi hasilnya diharapkan dapat dipakai untuk pengambilan kesimpulan secara umum atau general.

Titik sampling dibentuk dengan menarik garis dari titik hilir saluran pembuangan limbah PLTU-PLTGU yang membentuk suatu pola tertentu sehingga dapat mewakili seluruh kolam pelabuhan dimana aliran pembuangan limbah hanya satu titik. Titik sampling seperti pada gambar berikut:



Gambar 1. Peta posisi pengambilan sampel lokasi penelitian

Persamaan yang digunakan dalam penentuan tersebut menurut Rosenberg dan Resh, 1992 adalah:

Indeks keanekaragaman

$$(H') = - \sum_{i=1}^s \ln \frac{n_i}{N} \times \frac{n_i}{N}$$

dimana:

n_i = jumlah individu spesies- i

N = jumlah total individu

s = jumlah jenis

Indeks keseragaman (E) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$E = \frac{H'}{H' \text{ maks}}$$

dimana :

E = Indeks keseragaman

H' = Indeks diversitas

(indeks keanekaragaman)

$H' \text{ maks}$ = Diversitas maksimum

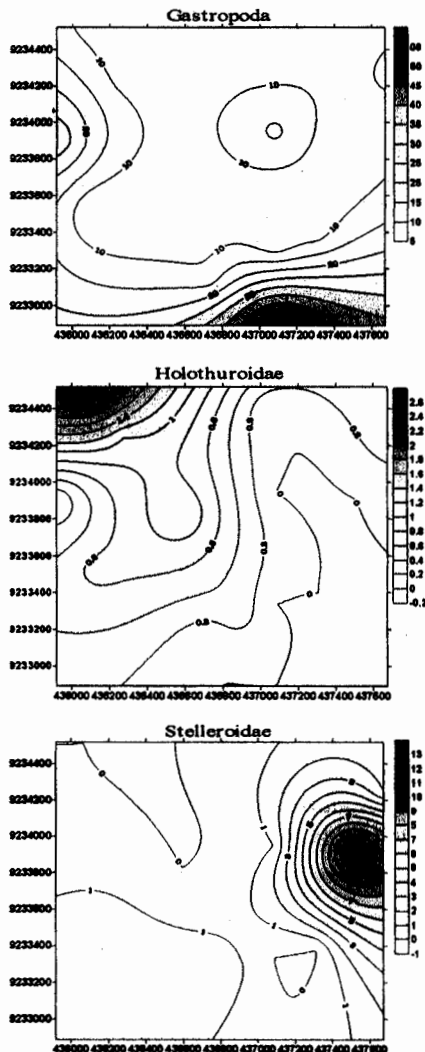
($= \ln s$) s = Jumlah jenis

Analisa data dilakukan dengan mengolah data yang diperoleh sebagai input pada program surfer

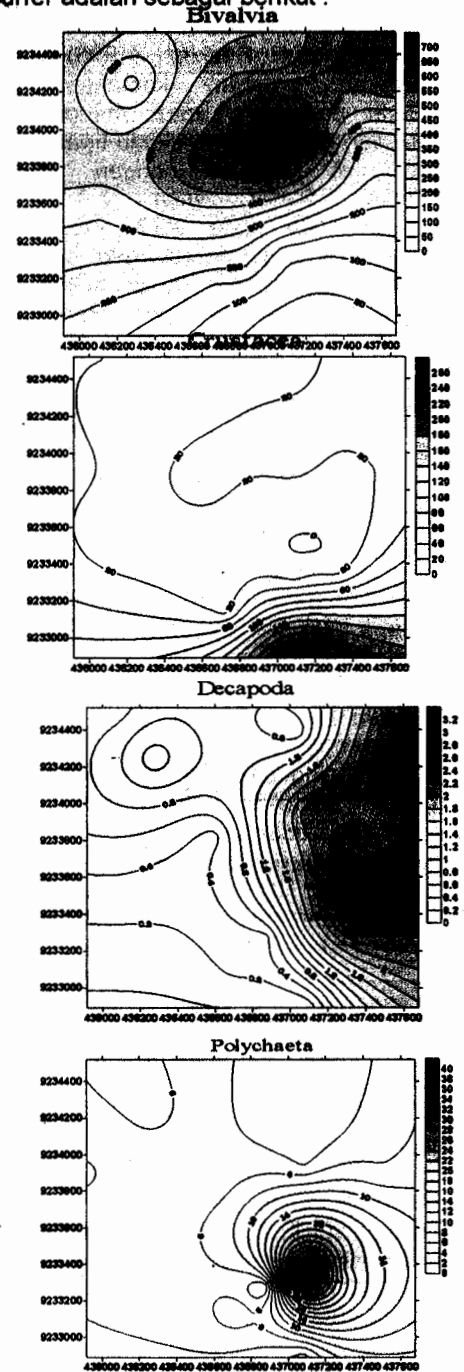
HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi Makrobentos

Hasil sampling menemukan 7 (tujuh) kelas hewan dan dari semua stasiun sampling hanya stasiun 1 (satu) (437083.8; 9232891) yang didominasi oleh kelas crustacea (Bernakel atau Teritip atau *Balanus balanoides*) sedangkan stasiun lainnya didominasi kelas bivalvia. Secara umum rata rata jumlah individu pada kolam pelabuhan dari semua stasiun sampling adalah Bivalvia > Crustacea > Gastropoda > Polychaeta > Stellerioidea > Decapoda > Holothuroidea. Jumlah Bivalvia yang relatif melimpah tersebut merupakan suatu hal yang wajar karena bivalvia memang mempunyai kemampuan adaptasi yang cukup tinggi terhadap penurunan kualitas lingkungan dan melimpah di daerah tropis.



Berdasarkan kelas makrobentos yang ditemukan tersebut pola distribusi di dalam kolam pelabuhan (stasiun 1 sampai 14) setelah dilakukan pengolahan dengan surfer adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Pola Distribusi Kelas Bivalvia, Crustacea, Gastropoda, Polychaeta, Stellerioidea, Decapoda, dan Holothuroidea Berdasarkan Jumlah Individu di Kolam Pelabuhan (Sumber: Data Primer, 2004)

Tabel 1. Kriteria Perairan Berdasarkan Nilai Indeks Keanekaragaman (H')

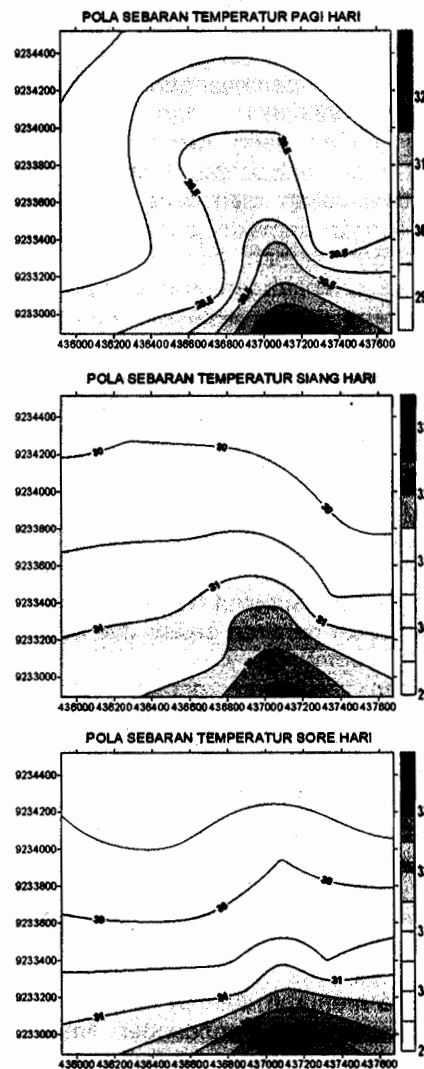
Kriteria Perairan Berdasarkan Nilai H'	
Derajat Pencemaran	H'
Tidak Tercemar	>2.0
Tercemar Ringan	2.0-1.6
Tercemar sedang	1.5-1.0
Tercemar Berat	<1.0

Sumber: Rosenberg dan Resh, 1992

Berdasarkan pola nilai indeks keanekaragaman dan indeks keseragaman yang terbentuk menunjukkan hal yang hampir sama dimana di sekitar saluran pembuangan mempunyai nilai indeks keanekaragaman yang rendah ($<0,6$). Nilai indeks keanekaragaman naik dengan semakin jauh dari saluran pembuangan tetapi di sebagian kecil tengah kolam pelabuhan kembali menurun di bawah 0,6 dan naik kembali di sekitar break water tetapi hanya berkisar sampai 0,85. Kondisi secara umum berdasarkan kriteria pada tabel 1 menunjukkan telah terjadi sebagian besar area kolam pelabuhan telah terjadi pencemaran berat dan hanya sebagian kecil yang masuk katagori tercemar ringan.

Nilai keseragaman makrobentos di titik saluran pembuangan relatif rendah ($<0,5$) tetapi kemudian naik dengan cepat dengan semakin jauhnya jarak dari saluran pembuangan tetapi kemudian menurun kembali kemudian pada sekitar breakwater naik kembali meskipun tidak begitu besar hanya sekitar 0,05. Hal ini menunjukkan adanya dominasi spesies disekitar saluran pembuangan limbah. Semakin jauh dari saluran pembuangan dominasinya berkurang tetapi mengalami dominasi kembali di sekitar tengah kolam pelabuhan dan faktor dominasi kembali berkurang di sekitar break water.

Sedangkan pola temperatur yang terjadi akibat adanya pembuangan air limbah dari PLTU-PLTGU pada pagi, siang dan sore hari adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Pola Distribusi Temperatur di Kolam Pelabuhan Pada Pagi, Siang dan Sore Hari (Sumber: Data Primer, 2004)

Bila dilihat pola temperatur yang terbentuk dan pola indeks keanekaragaman dan indeks keseragaman terlihat hubungan yang signifikan hanya terjadi disekitar saluran pembuangan dimana pada temperatur yang relatif tinggi terjadi dominasi dan keanekaragaman yang rendah. Hal tersebut bukan berarti dengan semakin turunnya temperatur tidak ada pengaruh bagi makrobentos karena berdasarkan nilai indeks keanekaragamannya menunjukkan telah terjadi pencemaran ringan pada sebagian kecil kolam pelabuhan dan sebagian besar telah terjadi pencemaran berat. Hal ini menunjukkan kemungkinan kondisi yang terjadi bukan hanya disebabkan oleh adanya pola distribusi

temperatur sesaat seperti gambar 4 tetapi sebagai akibat buangan air limbah dari PLTU-PLTGU secara kontinyu dalam jangka waktu lama dimana menurut Sawyer *et al*, 1994; Neves dan Lourenco, 1996 bahwa kebanyakan reaksi berlangsung kehadiran enzim yang sensitif pada temperatur. Pada saat panas mencapai air kenaikan aktifitas organisme menyebabkan BOD akan lebih dekat dengan buangan bahan organik yang *biodegradable*. Pengaruh biologi berkaitan dengan karakteristik optimum dalam air yang menjadi dasar sistem ekologi. Misalnya temperatur yang tidak mematikan ikan atau kerang dapat memberikan efek dalam metabolisme, reproduksi atau pertumbuhan seperti berkurangnya organisme makanan yang akan mengganggu sistem keseimbangan karena kompleksnya sistem alami.

Temperatur secara langsung memberikan efek fisiologis pada ikan yang hanya berada pada temperatur 0,5-10°C dari temperatur alami dan temperatur eksternal harus sesuai dengan temperatur internal yang diperlukan meskipun individu spesies bervariasi terhadap efek temperatur. Pembuangan air panas ke perairan yang dangkal dekat pantai juga menyebabkan kegagalan pemijahan (*spawning*) dan membunuh ikan-ikan muda. Ikan dan organisme lain yang mampu beradaptasi pada range temperatur yang lebih besar pun dapat pula mengalami kematian oleh adanya panas yang mendadak (*thermal shock*) (Neves dan Lourenco, 1996; www.Encarta.com, 2004; www.willamette.edu, 2004; www.discoverycube.org, 2004; www.polmar.com, 2004). Selain itu kemungkinan adanya faktor lain yang ikut berperan dalam mempengaruhi kualitas hewan makrobentos yang ada dimana menurut Nybakken, 1988; Meadows dan Campbell, 1988; Sumich, 1992; Laevastu dan Taivo, 1996. Faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi kehidupan makrobentos selain temperatur perairan adalah substrat dasar, kecepatan arus, kedalaman air, kecerahan, salinitas, pH, Oksigen terlarut (DO), nitrogen dan Fosfor.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa di kolam pelabuhan yang menjadi tempat pembuangan limbah dari PLTU-PLTGU telah terjadi pencemaran perairan dari ringan sampai berat.

Hasil pemetaan dengan surfer menunjukkan adanya area distribusi berbagai kelas makrobentos yang ditemukan, sebaran

nilai indeks keanekaragaman dan indeks keseragaman, dan sebaran temperatur yang terjadi dalam kolam pelabuhan sehingga dapat dilakukan analisa secara langsung berdasarkan hasil spasialnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang tak terhingga kami sampaikan kepada Departemen Pendidikan Nasional dan UNDIP yang telah memberikan dana melalui DIK Rutin 2004 dan kepada para mahasiswa yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aninomous, 1995. *Standard Methods: For the Examination of Water and Wastewater*. APHA- Washington
- _____, 2000, *General Environmental Multilingual Thesaurus (GEMET)*, <http://www.gemet.com>
- _____, 2001, *Explosive Dictionary (Definitions of Technical Terms)*, <http://projects.ghostwhell.com/dictionary>
- _____, 2004. *Thermal Pollution*. <http://MathInScience.info>
- _____, 2004, *Encyclopedia Article*, http://encarta.msn.com/encyclopedia_761572_857_2/Water_Pollution.html
- _____, 2004, *Thermal Pollution*, <http://www.willamette.edu/~ecaruso/thermal.htm>
- _____, 2004, *Water Quality Monitoring Project*, <http://www.discoverycube.org/programs/temperature.htm>
- _____, 2004, *Effect of A Thermal Pollution*, http://www.polmar.Com/pollution/thermique_e.htm
- Bhattacharya, B., Sarkar, S.K., Das, R. 2003. *Seasonal Variation And Inherent Variability of Selenium In Marine Biota of a Tropical Wetland Ecosystem: Implication for Bioindicator Species*. J. Eco. Indicators . Vol .2 (2003). Elsevier. <http://www.elsevier.com/locate/ecolind>
- Ilahude, 1999. *Pengantar ke Oseanologi Fisika*. LIPI. Jakarta.
- Keckler, Doug. 1995. *Surfer for Windows*. Golden Software Inc. USA.
- Kristanto, Philip, 2002, *Ekologi Industri*, LPPM Univ. Kristen Petra Surabaya & Andi Yogyakarta
- Laevastu dan Taivo, 1996. *Exploitable Marine Ecosystems: Their Behaviour and*

- Management. First edition. Blackwell Science, Inc. Massachusetts.
- Maurer, D., Robertson, G., Mengel, M., Gerlingee, T., Lissner, A. 2000. *Use of Statistical Process Control for Coastal Marine Biological Impact Analysis*. J. Aquatic Eco. Health & Manag. Vol 3 (2000). Elsevier. <http://www.elsevier.com/locate/aquech>
- Meadows, P.S., Campbell, J.I. 1988. *An Introduction to Marine Science*, John Wiley and Sons, New York.
- Millero, F.J. dan Sohn, M.L., 1991, *Chemical Oceanography*, CRC Press, London
- Nazir, M., 1988, *Metode Penelitian*, Ghalia Indonesia, Jakarta.
- Neumann, M.; Liess, M.; Schulz, R. 2003. *An Expert System to Estimate the Pesticide Contamination of Small Stream Using Benthic Macroinvertebrates as Bioindicators, Part 1. The Database of LIMPACT*. J. Eco. Indicators. Vol 2 (2003). Elsevier. <http://www.elsevier.com/locate/ecolind>
- Neves, R dan Lourenco, S., 1996, *Thermal Pollution*. <http://www.Cape.canterbury.ac.Nz/archive/THERMAL/tte1.htm>
- Odum, 1971. *Fundamentals of Ecology*. W.B. Saunders Co. Philadelphia.
- Padinha, C; Santos, R.; Brown, M.T. 2000. *Evaluating Environmental Contamination in Ria Formosa (Portugal) Using Stress Indexes of Spartina Maritima*. J. Marine Environmental Research Vol 42(2000). <http://www.elsevier.com/locate/marenvrev>
- Ratterman, Gretchen, 2003, *The Thermal Pollution of Water*. <http://outreach.ecology.uga.edu/watershed/thermal/htm>.
- Rosenberg, M.D. and Resh, H. V., 1992. *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrate*. Chapman & Hall. New York-London.
- Sawyer, C.N; McCarty, P.L.; Parkin, G.F. 1994. *Chemistry for Environmental Engineering*. McGraw-Hill. New York. USA
- Sumich, J.L. 1992. *An Introduction to the Biology of Marine Life*. Wm. C. Brown Publisher. USA
- Tchobanoglous, G dan Burton, F.L., 1991. *Waste Water Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. McGraw-Hill. New York. USA
- Thayib, M. H. 1994. *Pencemaran Ekosistem Laut dan Tata Ruang (Seminar Pencemaran Laut dan Penanggulangannya)*. LON LIPI. Jakarta.
- Trihadiningrum, Y. dan Tjondronegoro, I. 1998. *Makroinvertebrata Sebagai Bioindikator Pencemaran Badan Air Tawar di Indonesia Selangkah Kita ?*. Lingkungan dan Pembangunan 18 (1). Jakarta.
- Van Hell, H.C. Reinhold-Duduok dan Den Besten, P.J. 1999. *Relation Between Macroinvertebrate Assemblages in the Rhine-Meuse Delta (The Netherlands) and sediment Quality*. J. Aquatic Ecosystem Health and Manag. Vol. 2 (1999). <http://www.elsevier.com/locate/aquech>
- Yusuf, M. 1994. *Dampak Pencemaran Terhadap Kualitas Lingkungan Perairan dan Struktur Komunitas Makrozoobenthos di Laguna Pulau Tirang Cawang Semarang*. Tesis PPS IPB. Bogor.

NORMALISASI SUNGAI (SALURAN) KALIGAWA SEMARANG DAN PENGARUHNYA TERHADAP LINGKUNGAN SEKITAR DITINJAU DARI TEORI PERENCANAAN

Budi Prasetyo Samadikun^{*)}

ABSTRACT

The occurrence of crisis in planning theory development at this time, is caused by unrelated/unrelevant condition between knowledge and implementation (Friedman In Hadi, 2001). This condition often happened in developing countries, where policy, program, and project unable to translate importance, aspiration, and requirement of society. One example of the Governmental Program in Indonesia, as developing country, is called River Normalization Program. This program is applied in Genuk District, Semarang City; It can be one of good example for planning theory application in developing country. In this case study, the successful of development program in Genuk District not only depend on regional leader as policy maker of final decision, but also because of participation from all stakeholders which have competence in the planning and implementation.

Key words: *planning theory, normalization program, participation*

PENDAHULUAN

Teori perencanaan yang dominan pada saat ini sedang mengalami krisis. Friedman dalam Hadi (2001:18) menyatakan bahwa salah satu sebab dari kondisi ini adalah tidak adanya keterkaitan antara pengetahuan (*knowledge*) dan penerapan atau implementasi (*action*). Artinya, terdapat krisis pemahaman tentang masyarakat. Ketidakterhasilan memahami kebutuhan masyarakat merupakan pertanda krisisnya suatu teori perencanaan.

Teori perencanaan yang ideal adalah yang tidak hanya mampu mengakomodasi kepentingan dan kebutuhan masyarakat, tetapi juga yang mampu memadukan berbagai nilai dari kepentingan yang terlibat. Hal yang sering terjadi di negara berkembang, para perencana mengambil secara *instant* teori-teori perencanaan dari negara maju untuk diadaptasi di negaranya, tanpa melihat kebutuhan yang esensial dari masyarakat. Bagaimana dengan Indonesia?

Sebuah studi pada Program Normalisasi Sungai di Kecamatan Genuk Kota Semarang, bisa menjadi salah satu kajian tentang penerapan teori perencanaan di Indonesia. Proses berjalannya perencanaan, dari mulai awal kegiatan sampai dengan implementasinya akan dianalisis secara mendalam pada pembahasan berikut.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Program normalisasi Sungai Tenggang di sepanjang jalan Raya Kaligawe, atau selanjutnya disebut sebagai Sungai Kaligawe ini diadakan di Kecamatan Genuk, khususnya di tiga kelurahan, yakni Kelurahan Genuksari, Kelurahan Gebangsari, dan Kelurahan Muktiharjo Lor yang di dalamnya mengalir Sungai (saluran) Kaligawe maupun sungai (saluran) lain. Program ini baru dilakukan pada bulan Oktober 2001, yang diprakarsai oleh Camat Genuk : Budi Tjahjanto, SH, MHum.

Program normalisasi sungai merupakan salah satu program/tugas kebersihan Pemerintah Kota Semarang yang sehari-hari dikoordinasi oleh Dinas Kebersihan, sementara untuk pelaksanaannya diserahkan kepada Dinas Pekerjaan Umum (DPU) Kota Semarang. Sejak otonomi daerah mulai diberlakukan, terjadi hambatan dalam proses normalisasi sungai, yaitu adanya kekurangan dana Pemerintah Kota untuk mengelola sungai-sungai yang ada di wilayah Kota Semarang. Oleh karenanya, Walikota Semarang dalam Keputusan Nomor : 130.2/339 tahun 2000 tanggal 5 Agustus 2000 secara eksplisit menginstruksikan kepada seluruh Kepala Kecamatan di Kota Semarang untuk mengkoordinasi program kebersihan di tiap

^{*)} Program Studi Teknik Lingkungan FT Undip
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang Semarang

kecamatan, untuk selanjutnya di- *breakdown* ke tiap kelurahan, khususnya kelurahan yang di wilayahnya mengalir sungai.

The Process

Berdasarkan wawancara mendalam dengan *key person*, yakni Camat Genuk, Budi Tjahjanto, SH, MHum, diperoleh informasi bahwa proyek normalisasi sungai (saluran) di Kecamatan Genuk dilaksanakan berdasarkan Keputusan Walikota Semarang Nomor : 130.2/339 tahun 2000 tanggal 5 Agustus 2000 tentang penyerahan sebagian tugas Dinas Tata Bangunan, Dinas Kebersihan, Dinas Pertamanan, dan UPD Pengelola Pedagang Kaki Lima Kepada Kelurahan.

Kecamatan Genuk sebagai pihak yang menerima langsung instruksi dari Walikota Semarang segera melakukan koordinasi dengan beberapa pihak yang terkait langsung dengan proyek normalisasi ini, yakni pihak-pihak yang di wilayahnya dialiri oleh Sungai (saluran) Kaligawe maupun saluran lain yang mempengaruhi keberadaan Saluran Kaligawe, meliputi :

1. Beberapa kelurahan, yaitu Kelurahan Genuksari, Kelurahan Gebangsari, dan Kelurahan Muktiharjo Lor.
2. Beberapa pabrik besar dan kecil, misalnya PT Tensindo, PT Dwipa Gupta, PT Nyonya Meneer, PO Sumber Larees, dan lain-lain.
3. Kelompok Swadaya Masyarakat (KSM). Pihak-pihak tersebut pada akhirnya berkumpul (*berembug*) bersama dalam sebuah acara pertemuan di Kantor Kecamatan Genuk untuk merencanakan pelaksanaan proyek normalisasi ini sekaligus keberlanjutannya di masa yang akan datang, terkait dengan pemeliharaan (*maintenance*) selanjutnya.

Dalam pertemuan di tingkat kecamatan, yaitu antara pihak kecamatan, kelurahan, Kelompok Swadaya Masyarakat (KSM), dan pihak pabrik diperoleh sebuah kesepakatan untuk menanggung secara bersama-sama biaya pembersihan saluran Kaligawe tersebut; sementara sebagai pelaksana di lapangan adalah Kelompok Swadaya Masyarakat di masing-masing kelurahan. Secara lengkap pelaksanaan normalisasi yang sudah berjalan dan pihak-pihak yang terlibat dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 1.
Rekapitulasi Kegiatan Pengerukan Saluran
di Wilayah Kecamatan Genuk
Oktober 2001 - Oktober 2002

Waktu Pelaksanaan	Lokasi	Ukuran (meter)	Biaya (juta rupiah)	Peserta
Okt 2001	Saluran Kaligawe Kel. Gebangsari	p = 600 l = 8	4,7	PT Dwipa Gupta PT La Citra Furindo PT Paliser Donatur lainnya Kecamatan Genuk Kelurahan Gebangsari
Nov 2001	Saluran Padi Raya Kel. Gebangsari	p = 700 l = 2,5	3,5	PT Tensindo Perusahaan di Padi Raya Donatur lain Kecamatan Genuk Kelurahan Gebangsari
Des 2001	Saluran Kaligawe Kel. Genuksari	p = 100 l = 8	0,75	Kecamatan Genuk Kelurahan Genuksari Pasar Genuksari Donatur lain
Jan 2002	Saluran Muktiharjo Raya Kel. Muktiharjo Lor	p = 500 l = 3	2,5	KSM W. Muktiharjo Lor Kecamatan Genuk Donatur lain Kelurahan Muktiharjo Lor
Feb 2002	Saluran Dalam Kaligawe Kel. Gebangsari	p = 600 l = 3,5	3,5	PT Tensindo Lactra Furindo PT Danwood Donatur lain Kecamatan Genuk Kelurahan Gebangsari
April 2002	Saluran Padi Raya Kel. Gebangsari	p = 700 l = 2,5	6	PT Tensindo PO Nasima Donatur lain Kecamatan Genuk Kelurahan Gebangsari
Mei 2002	Saluran Kaligawe Raya Kel. Gebangsari	p = 400 l = 8	3	PT LK Tanah Makmur PT Yanmar PT Tensindo PT Dwipa Gupta Donatur lain Kecamatan Genuk Kelurahan Gebangsari
	Saluran Kaligawe Kel. Genuksari	p = 300 l = 8	1,5	PT Phoenix PT Bumi Matahari Tunggal PT SMP Kecamatan Genuk Kelurahan Genuksari

Tabel 1.
Rekapitulasi Kegiatan Pengerukan Saluran
di Wilayah Kecamatan Genuk
Oktober 2001 - Oktober 2002 (Lanjutan)

Juli 2002	Saluran Kaligawe Raya Kel.Gebang sari	p = 800 l = 8	4	<ul style="list-style-type: none"> PO Sumber Lerees PT Danwood PT Nasima PO Sido Rukun PT Dwipa Gupta Adi Grafika Donatur lain Kecamatan Genuk Kel.Gebangsari
	Saluran Padi Raya Kel. Gebangsari	p = 700 l = 2,5	2,5	<ul style="list-style-type: none"> PT Tensindo PT Lactra Donatur lain Kecamatan Genuk Kel.Gebangsari
Sept 2002	Saluran Kaligawe Raya Kel.Gebang sari dan Muktharjo Lor	p = 600 l = 8	6,4	<ul style="list-style-type: none"> PT Nyonya Meneer KSM Wil.Muktharjo Lor Kec.Genuk Kel.Muktharjo Lor
Okt 2002	Saluran Pengaron Kel.Muktharjo Lor	p = 500 l = 3	2,75	<ul style="list-style-type: none"> PT Nyonya Meneer KSM Wil.Muktharjo Lor LIK Tanah Makmur Kec.Genuk Kel.Muktharjo Lor
Nov 2002	Sal. Muktharjo Raya Kel.Muktharjo Lor	p = 700 l = 3	4,5	<ul style="list-style-type: none"> KSM Wil.Muktharjo Lor Kec.Genuk Kel.Muktharjo Lor
Jan 2003	Saluran Kaligawe Raya Kel.Muktharjo Lor	p = 400 l = 8	3,5	<ul style="list-style-type: none"> KSM Wil.Muktharjo Lor Kec.Genuk Kel.Muktharjo Lor
	Saluran Padi Raya Kel. Gebangsari	p = 100 l = 2,5	1,25	RT 1 RW 2 Kel.Gebangsari
Mei 2003	Saluran Kaligawe Raya Muktharjo Lor	p = 500 l = 8	4,5	<ul style="list-style-type: none"> KSM Wil.Muktharjo Lor Kec.Genuk Kel.Muktharjo Lor

Sumber : Laporan Kegiatan Normalisasi
Kecamatan Genuk Tahun 2001-2003

Melihat tabel 1, besarnya biaya pengerukan saluran berkisar antara Rp. 750.000 sampai dengan Rp. 6.400.000 tergantung dari panjang dan lebar saluran yang dikeruk. Biaya normalisasi saluran walaupun cukup besar, tetapi tidak memberatkan masyarakat karena didukung oleh berbagai pihak (terutama pabrik-pabrik) dan pelaksanaan pengerukan saluran tersebut diserahkan kembali kepada masyarakat, yaitu oleh Kelompok Swadaya

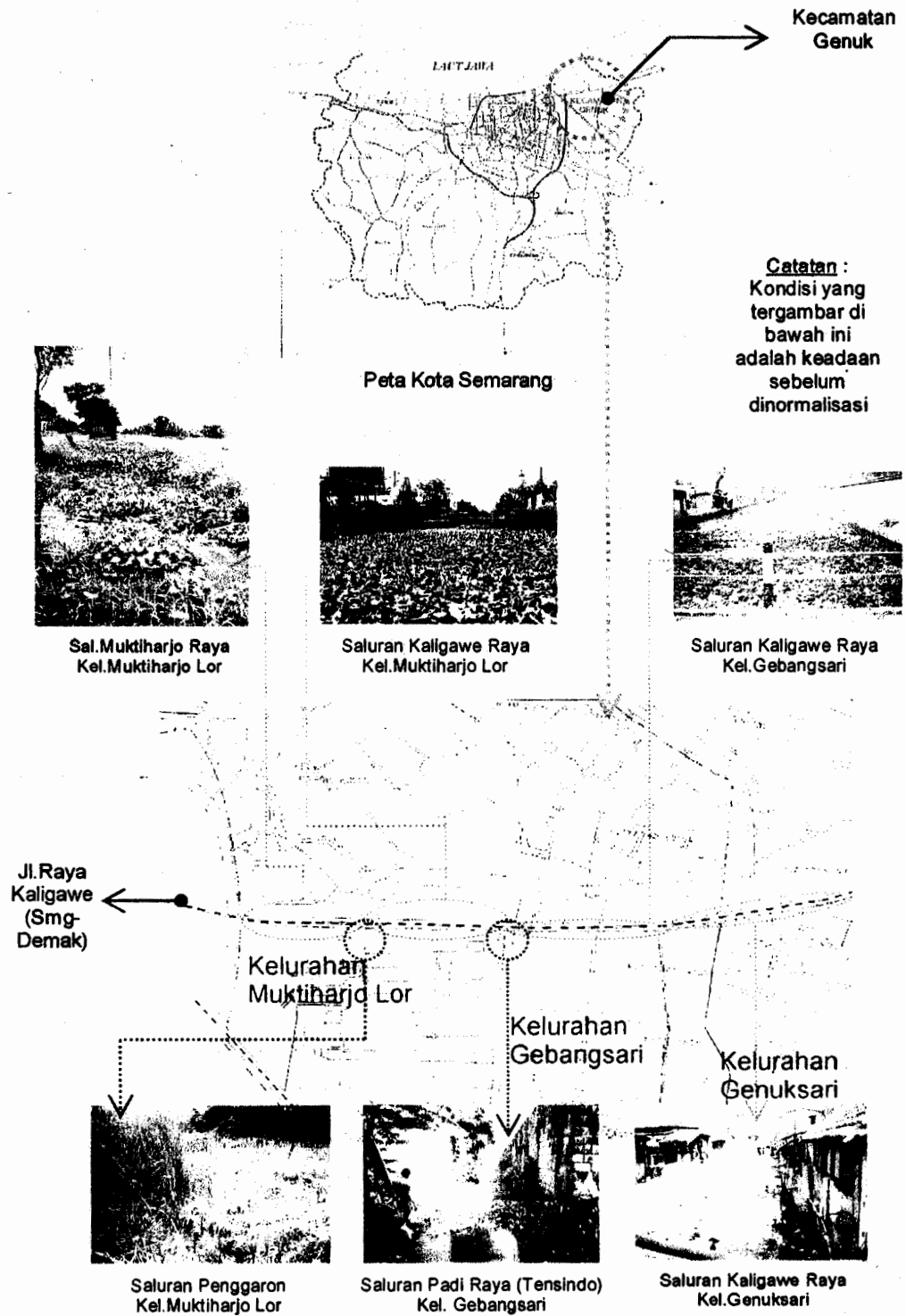
Masyarakat (KSM). Untuk saluran-saluran yang dinormalisasi dapat dilihat dalam gambar 1.

Gambar 1 menunjukkan saluran-saluran di Kecamatan Genuk yang kondisinya sangat memprihatinkan, dipenuhi oleh tanaman enceng gondok dan kangkung yang berkembang sangat pesat, sehingga mengakibatkan terhambatnya aliran dan berkurangnya estetika sungai. Selain itu, kondisi saluran juga diperparah oleh perilaku masyarakat yang membuang sampah ke saluran tersebut (seperti terlihat dalam gambar Saluran Kaligawe Raya Kelurahan Gebangsari dan Kelurahan Genuksari).

Dalam teori perencanaan pembangunan, dikenal teori sinoptik komprehensif, inkremental, transaktif, advokasi, anarki, dan marxis dengan karakteristik seperti pada tabel berikut (Hudson dalam Hadi, 2001:39) :

Tabel 2. Karakteristik Teori-teori Perencanaan

Teori Perencanaan	Karakteristik	Peran Perencana
Sinoptik Komprehensif	Lingkup luas Rasional ilmiah Terstandarisasi Tersentralisasi Tidak fleksibel Tujuan utama bersifat ekonomis	Birokrat Teknisi
Inkremental	Lingkup terfokus Sektor terdesentralisasi Pemeliharaan sistem Tujuan utama bersifat ekonomis	Teknisi yang pragmatis
Transaktif/Pembelajaran Sosial	Pembelajaran timbal balik Tidak hirarkis Fleksibel Kontekstual Tujuan utama bersifat sosial	Fasilitator Mediator Pendidik
Advokasi	Situasi konflik Reformasi sosial Representasi pada klien	Advokat
Anarki	Skala kecil Desentralisasi Kerjasama timbal balik Fleksibel	Katalis Promotor
Marxis	Kritik sosial Konflik melalui perjuangan kelas Mobilisasi sosial Transformasi sosial	Agan Perubahan



Sumber : Data Kecamatan Genuk dan Hasil Pengamatan Lapangan

Gambar 1 Kondisi Saluran-Saluran di Kecamatan Genuk

Ditinjau dari sudut pandang teori perencanaan, inisiatif Camat Genuk untuk meneruskan kebijakan Walikota Semarang di wilayahnya dengan mengajak semua pihak yang berkompeten untuk turut berpartisipasi mewujudkan program normalisasi, menunjukkan adanya gabungan antara teori sinoptik komprehensif yang ditunjang oleh adanya sebuah pembelajaran sosial (transaktif).

Sinoptik komprehensif dalam kasus normalisasi tampak jelas pada peran Camat sebagai seorang birokrat, yang melihat perencanaan sebagai suatu yang ilmiah rasional dan non politis yang sifatnya menyeluruh, ditandai dengan adanya tujuan yang jelas (Hudson dalam Hadi, 2001:22). Dalam kasus normalisasi saluran dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Rasional ilmiah ditunjukkan oleh tindakan meneruskan kebijakan yang ditetapkan oleh Walikota Semarang untuk diterapkan di wilayah Kecamatan Genuk, dengan mengkaji beberapa daerah di kelurahan yang dialiri oleh Saluran Kaligawe yang membutuhkan normalisasi/pengerukan.
2. Aktivitas non-politik, secara jelas ditunjukkan oleh perencanaan program normalisasi yang berorientasi semata-mata demi kepentingan lingkungan (untuk mewujudkan kondisi lingkungan yang lebih baik daripada kondisi sebelumnya) tanpa adanya muatan politis.
3. Sifat menyeluruh (komprehensif), bahwa kegiatan normalisasi ini ditujukan kepada semua kelurahan yang wilayahnya mengalir Sungai Kaligawe.
4. Tujuan yang jelas, yaitu bahwa dalam kegiatan normalisasi ini bertujuan untuk mewujudkan kondisi sungai seperti sedia kala, yaitu sungai yang bersih, sehingga air mengalir dengan lancar dan sedap dipandang mata.

Kunci dari gagasan perencanaan transaktif dan pembelajaran sosial adalah evolusi dari desentralisasi yang membantu orang-orang untuk memperoleh akses yang lebih dalam mengambil keputusan yang mempengaruhi kehidupan mereka (Hadi, 2001:26). Hal yang merupakan aspek penting dari proses perencanaan adalah adanya proses pembelajaran timbal balik, ditunjukkan adanya kontak langsung dengan masyarakat yang terpengaruh melalui dialog personal (Hadi, 2001:26). Dalam kasus perencanaan

normalisasi, pembelajaran sosial ditunjukkan oleh inisiatif Camat Genuk dengan mengajak dialog seluruh pihak terkait (meliputi masyarakat yang tergabung dalam Kelompok Swadaya Masyarakat dan pihak swasta/pabrik) untuk mengakomodasi berbagai aspirasi masyarakat. Perencana (Camat Genuk) dan masyarakat terlibat dalam proses dialog yang tidak formal atau *non-hirarkial*. Peran perencana disini adalah sebagai fasilitator. Selain itu, dalam dialog tersebut perencana dan masyarakat (klien) saling belajar untuk menemukan adanya pemahaman baru tentang kemungkinan adanya perubahan-perubahan. Dalam proses interaksi ini, perencana dapat bertindak sebagai guru/pendidik, yang menyederhanakan perencanaan dan pengetahuan teknis dalam bahasa masyarakat (klien). Pada akhirnya, pencapaian kesepakatan melalui forum perundingan (mediasi) merupakan strategi yang baik karena akan membuahkan hasil yang *win-win (win-win solution)*. Kesepakatan tersebut akan ditaati oleh semua pihak karena mereka merasa merasa menjadi bagian dalam perundingan. Dalam hal ini peran perencana adalah sebagai mediator, yang memfasilitasi berbagai pihak yang berkepentingan dengan mendasarkan *interest* dari masyarakat.

The Impact

Adanya proyek normalisasi (pengerukan) sungai/saluran sebagai upaya pemeliharaan kebersihan saluran yang telah berjalan secara periodik (Oktober 2001 - Mei 2003) dan dilakukan oleh berbagai pihak terkait, meliputi : pemerintah (kelurahan dan kecamatan), masyarakat (Kelompok Swadaya Masyarakat), dan swasta (pabrik-pabrik) merupakan bukti nyata sebuah kerjasama yang baik dan kesadaran yang tinggi dari berbagai pihak untuk mewujudkan suatu kondisi lingkungan yang lebih baik dari kondisi sebelumnya. Berbagai dampak positif yang muncul pada lingkungan dapat diinventarisasi sebagai berikut :

1. Saluran yang semula dipenuhi oleh tanaman kangkung dan enceng gondok yang berkembang sangat pesat maupun sampah yang dibuang oleh masyarakat, kini telah terlihat bersih dan alirannya sudah tidak lagi terhambat.

2. Saluran/sungai yang bersih dan lancar alirannya akan mencegah terjadinya banjir, terutama saat musim hujan tiba.
3. Air yang mengalir lancar dan bebas sampah mencegah timbulnya berbagai macam penyakit, terutama yang disebabkan oleh sampah.
4. Sungai yang bersih akan menampilkan sebuah estetika/keindahan yang pada akhirnya turut menciptakan citra kota yang indah. Masyarakat sudah tidak lagi menganggap sungai sebagai bagian belakang dari rumahnya, tetapi sudah menganggap sungai sebagai suatu aset yang sebenarnya patut dibanggakan, sehingga muncullah konsep *water front city*.

Secara visual, perubahan/perbaikan lingkungan yang terjadi setelah dijalankannya program normalisasi saluran/sungai di Kecamatan Genuk dapat dilihat pada gambar 2 berikut ini :



Saluran Kaligawe Kel. Gebangsari
Setelah Dikeruk



Saluran Muktiharjo Raya Kel. Muktiharjo Lor
Setelah Dinormalisasi



Saluran Kaligawe-
Kel. Muktiharjo Lor
Pasca Normalisasi



Saluran Tensindo-
Kel. Gebangsari
Pasca Normalisasi

Gambar 2. Kondisi Beberapa Saluran di
Kecamatan Genuk Setelah Program
Normalisasi

Sumber : Hasil Pengamatan

Hasil dari kegiatan normalisasi saluran di Kecamatan Genuk terlihat secara jelas pada gambar 2 tersebut, yaitu kondisi saluran yang dicapai setelah normalisasi telah mengalami perbaikan yang sangat signifikan bila dibandingkan dengan kondisi sebelumnya (pada gambar 1), sehingga dapat dikatakan bahwa implementasi perencanaan lingkungan telah berjalan dengan baik dan efektif, bukan hanya sekedar memenuhi ketentuan yang telah diinstruksikan oleh Walikota Semarang, tetapi memang benar-benar telah dilaksanakan dengan baik dan menimbulkan dampak yang positif pada lingkungan.

Walaupun program normalisasi saluran telah berjalan dengan baik, bukan berarti tidak ada hambatan dalam pelaksanaannya. Beberapa hambatan yang ditemui, diantaranya:

1. Hambatan yang bersifat teknis. Terdapat perbedaan mengenai cara/teknis pengerukan saluran-saluran, yaitu saluran yang letaknya di Jalan Raya Kaligawe mudah dijangkau oleh alat berat seperti eskavator, sementara saluran-saluran yang kebetulan letaknya tidak mungkin dijangkau oleh alat berat (lihat gambar 3) terpaksa dikerjakan secara manual atau dengan tenaga manusia. Hal senada dinyatakan pula oleh Kepala DPU Kota Semarang Ir. Djoko Marsudi, MTA yang mengatakan bahwa normalisasi saluran Gebangsari beberapa saat lalu terpaksa dihentikan akibat lokasi saluran yang tidak memungkinkan menggunakan alat berat (Suara Merdeka, 2003:XVIII).



Penggunaan
Eskavator untuk
mengeruk Saluran
Kaligawe-
Kel. Gebangsari



Penggunaan Tenaga
Manusia untuk
mengeruk Saluran
Tensindo-
Kel. Gebangsari

Gambar 3. Teknis Pengerukan Saluran
Sumber : Hasil Pengamatan

2. Hambatan yang sifatnya non teknis. Berdasarkan hasil wawancara dengan Camat Genuk, pada awalnya pelaksanaan normalisasi ini berjalan dengan lancar jarang ada keluhan dari masyarakat. Tetapi akhir-akhir ini, akibat adanya berita di media massa yang menyatakan bahwa terdapat dana yang cukup besar untuk proyek normalisasi ini, mulai muncul kecurigaan warga Genuk terhadap Pemerintah Kota Semarang. Warga Genuk mempertanyakan bila memang ada dana normalisasi yang cukup besar, mengapa mereka tetap harus mengeluarkan sejumlah uang, walaupun sifatnya sukarela. Kepala DPU Kota Semarang Ir.Djoko Marsudi, MTA menyatakan bahwa semestinya ada dana khusus dari APBD dengan cara mendahului anggaran, namun sampai sekarang belum diketahui apakah dana itu sudah disetujui oleh DPRD atau belum.

The Alternatives

Meninjau pengalaman implementasi perencanaan pembangunan pada proyek normalisasi saluran di Kecamatan Genuk, dapat dipetik sebuah pelajaran bahwa tidak selamanya penerapan sinoptik komprehensif dalam sebuah perencanaan akan menimbulkan dampak negatif, asalkan masyarakat turut dilibatkan dalam perencanaan tersebut. Inilah yang disebut sebagai gabungan (sinkronisasi) antara sinoptik komprehensif dan pembelajaran sosial, yaitu orientasinya harus diutamakan kepada aspek sosial (masyarakat) bukan hanya aspek ekonomis semata.

Perencanaan proyek normalisasi di Kecamatan Genuk dapat dikategorikan sebagai perencanaan yang cukup baik dan berhasil, karena secara nyata telah mampu menghasilkan suatu kondisi lingkungan yang lebih baik daripada kondisi sebelumnya dan sudah menunjukkan ciri perencanaan lingkungan yang baik, yaitu mampu mengakomodasi kepentingan dari berbagai pihak terkait, terutama yang menyangkut hajat hidup orang banyak.

Perencanaan lingkungan yang sudah cukup baik di Kecamatan Genuk ini dapat menjadi contoh yang baik untuk diterapkan di daerah lain, terutama karena prosesnya yang cukup terbuka, demokratis, dan bisa diterima oleh semua pihak (*stakeholder*). Hal yang patut menjadi perhatian mendalam untuk

keberlanjutan proyek normalisasi ini adalah perlunya keterbukaan dan transparansi dari Pemerintah Kota Semarang mengenai alokasi dana yang disediakan untuk proyek normalisasi ini, sehingga tidak menimbulkan kecurigaan masyarakat. Selain itu media massa jangan terlalu membesar-besarkan (*mem-blow up*) dana yang sebenarnya belum pasti jumlahnya, sehingga makin memicu keresahan masyarakat.

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan dari pembahasan di atas, adalah sebagai berikut :

1. Berhasilnya suatu program pembangunan di suatu daerah bukan hanya tergantung pada kepala daerah sebagai pemegang kebijakan dan pengambil keputusan akhir. Dibutuhkan keikutsertaan dan dukungan semua pihak yang berkompeten dalam perencanaan maupun pelaksanaannya (implementasi) di lapangan.
2. Tidak selamanya otonomi berdampak buruk terhadap pembangunan di suatu daerah. Program normalisasi saluran di Kecamatan Genuk dapat dijadikan sebagai contoh bahwa penyerahan sebagian tugas/kewenangan dari tingkat pusat kepada tingkat di bawahnya sebenarnya mempunyai maksud agar daerah yang diberi wewenang tersebut lebih memiliki hak dan tanggung jawab penuh dalam mengelola pembangunan di wilayahnya. Namun demikian, kunci keberhasilannya tetap terletak pada keikutsertaan masyarakat yang turut diikutsertakan dari proses perencanaan, pelaksanaan, sampai dengan evaluasi di lapangan.
3. Dalam era modern dengan arus informasi yang sangat cepat berkembang dan beredar, peran media massa sedemikian besar, mampu mengubah masalah lingkungan dan masalah sosial menjadi masalah politik. Seharusnya, media massa mampu bersikap netral (tidak memihak) dan profesional dalam mengkritisi suatu berita yang belum jelas dasarnya, sehingga tidak menimbulkan kecurigaan dan keresahan bagi masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA DAN REFERENSI

- Anonymous, *Normalisasi Gebangsari Dihentikan*. Semarang: Suara Merdeka, 3 Juli 2003.
- Hadi, Sudharto P., *Dimensi Lingkungan Perencanaan Pembangunan*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press, 2001.
- Kecamatan Genuk, *Laporan Kegiatan Normalisasi Kecamatan Genuk tahun 2001-2003 tentang Rekapitulasi Kegiatan Pengerukan Saluran Di Wilayah Kecamatan Genuk Oktober 2001- Mei 2003*
- Keputusan Walikota Semarang Nomor : 130.2/339 tahun 2000 tanggal 5 Agustus

CLUSTERING DATA PENCEMARAN UDARA SEKTOR INDUSTRI DI JAWA TENGAH DENGAN KOHONEN NEURAL NETWORK

Budi Warsito^{*)}, Dwi Ispriyanti^{*)}, Henny Widayanti^{*)}

ABSTRACT

Industrial clustering in Central Java based on polutan yielded to be intended in order to obtaine an industrial group as information in development wisdom specially at Central Java Province. The method that is selected in industrial clustering is Kohonen Artificial Neural Network. An Artificial Neural Network is configured for a specific application, such as pattern recognition or data classification, through a learning process. Kohonen Neural Network can be used in data clustering through unsupervised learning. This network will divide the input pattern into some cluster, based on trained weight. Then this weight will be updated until it can classified itself into the class needed. This paper will present the result of the air contamination data clustering at industrial sector in Central Java at the year 2006 using Kohonen Neural Network. The result of this clustering is industrial clustering, based on polutan yielded, become three clusters.

Key Words : Kohonen, Cluster, air pollution

1. PENDAHULUAN

Pembangunan di Indonesia khususnya pada sektor industri telah membawa dampak bagi kehidupan manusia, baik dampak positif maupun negatif. Salah satu dampak negatif yang ditimbulkan adalah pencemaran udara yang dirasakan semakin meningkat. Dengan meningkatnya beban pencemaran udara sebagai efek negatif dari kegiatan industri, diperlukan pengelompokan industri berdasarkan beban polutan, sehingga dapat diketahui hasilnya berupa kelompok-kelompok industri sebagai informasi dalam kebijaksanaan pembangunan khususnya pada Propinsi Jawa Tengah.

Pengelompokan industri berdasarkan beban polutan dapat dilakukan dengan menggunakan analisis cluster dengan memanfaatkan Jaringan Syaraf Tiruan (*Artificial Neural Network*). Jaringan Syaraf Tiruan (*Artificial Neural Network*) sudah mulai banyak dimanfaatkan sebagai solusi terhadap berbagai macam kasus yang muncul beberapa dekade terakhir. Sejarah ANN menunjukkan pembahasan terhadap masalah ini muncul sekitar tahun 1990-an namun implementasinya baru banyak muncul beberapa dekade terakhir.

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) Kohonen merupakan suatu jaringan yang mempunyai kemampuan memetakan pola masukan melalui model pembelajaran tanpa pengawasan (*unsupervised learning*). Pemetaan yang dihasilkan akan

menunjukkan hubungan keterkaitan di antara pola-pola masukan tersebut dalam suatu representasi yang lebih ringkas dari data aslinya dengan mempertahankan hubungan topologinya. (Stergiou, L. 1989)

Menurut Siang (1990), pemanfaatan Jaringan Kohonen dalam pembuatan peta masukan dilakukan dengan membagi pola masukan ke dalam beberapa kelompok (cluster). Dalam kasus pencemaran udara di Jawa Tengah Jaringan Kohonen dapat digunakan untuk mengetahui pengelompokan industri berdasarkan beban polutan yang dihasilkan.

2. JARINGAN SYARAF TIRUAN

Jaringan Syaraf Tiruan (*Artificial Neural Network*) adalah suatu paradigma pengolahan informasi yang diilhami oleh sistem biologi yaitu neuron, seperti otak yang memproses informasi. Kunci Jaringan Syaraf Tiruan adalah struktur sistem pengolahan informasi, yang terdiri atas sejumlah unsur-unsur (syaraf) yang bekerja saling berhubungan untuk memecahkan permasalahan spesifik.

Jaringan Syaraf Tiruan dibangun untuk meniru cara kerja otak manusia. Seperti halnya otak manusia yang terdiri dari sekumpulan sel syaraf (*neuron*), jaringan syaraf juga terdiri dari beberapa *neuron* dan terdapat hubungan antara *neuron-neuron* tersebut. *Neuron-neuron* tersebut akan memindahkan informasi yang diterima melalui sambungan keluarnya menuju

^{*)} Program Studi Statistika FMIPA Undip
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang Semarang

neuron-neuron yang lain. Pada jaringan syaraf, hubungan ini dikenal dengan nama bobot. Informasi tersebut disimpan pada nilai tertentu pada bobot.

Proses pembelajaran terhadap perubahan bobot dalam Jaringan Syaraf Tiruan ada dua, yaitu :

(i) Pembelajaran terawasi (*supervised learning*)

Metode pembelajaran pada jaringan syaraf disebut terawasi jika output yang diharapkan telah diketahui sebelumnya. Pada proses pembelajaran, satu pola input akan diberikan ke satu *neuron* pada lapisan input. Pola ini akan dirambatkan di sepanjang jaringan syaraf hingga sampai ke *neuron* pada lapisan output. Lapisan output ini akan membangkitkan pola output yang nantinya akan dicocokkan dengan pola output targetnya. Apabila terjadi perbedaan antara pola output hasil pembelajaran dengan pola target, maka akan muncul error. Apabila nilai error cukup besar, mengindikasikan bahwa masih perlu dilakukan lebih banyak pembelajaran lagi.

(ii) Pembelajaran tak terawasi (*unsupervised learning*)

Pada metode pembelajaran yang tak terawasi ini tidak memerlukan target output. Pada metode ini, tidak dapat ditentukan hasil yang seperti apakah yang diharapkan selama proses pembelajaran. Selama proses pembelajaran, nilai bobot disusun dalam suatu range tertentu tergantung pada nilai input yang diberikan. Tujuan pembelajaran ini adalah mengelompokkan unit-unit yang hampir sama dalam suatu area tertentu.

3. JARINGAN KOHONEN

Jaringan Kohonen termasuk dalam pembelajaran tak terawasi (*unsupervised learning*). Jaringan ini pertama kali diperkenalkan oleh Teuvo Kohonen pada tahun 1981. Pada jaringan ini, suatu lapisan yang berisi *neuron-neuron* akan menyusun dirinya sendiri berdasarkan input nilai tertentu dalam suatu kelompok yang dikenal dengan istilah cluster. Selama proses penyusunan diri, cluster yang memiliki vektor bobot paling cocok dengan pola input (memiliki jarak paling dekat) akan

terpilih sebagai pemenang. *Neuron* yang menjadi pemenang beserta *neuron-neuron* tetangganya akan memperbaiki bobot-bobotnya.

Terdapat m unit kelompok yang tersusun dalam arsitektur sinyal-sinyal masukan (input) sejumlah n . Vektor bobot untuk suatu unit kelompok disediakan dari pola-pola masukan yang tergabung dengan kelompok tersebut. Selama proses pengorganisasian sendiri, unit kelompok yang memiliki vektor bobot paling cocok dengan pola masukan (ditandai dengan jarak *Euclidean* paling minimum) dipilih sebagai pemenang. Unit pemenang dan unit tetangganya diperbaharui bobotnya. Setiap *neuron* terkoneksi dengan *neuron* lain yang dihubungkan dengan bobot atau *weight*. Bobot tersebut berisi informasi yang akan digunakan untuk tujuan tertentu.

Algoritma pembelajaran tanpa supervisi pada Jaringan Kohonen untuk diterapkan dalam pengelompokan data (*clustering data*) adalah sebagai berikut :

1. Tetapkan :
 - a. Jumlah Variabel = m
 - b. Jumlah Data = n
 - c. Jumlah Cluster = K
2. Inisialisasi :
 - a. Bobot Input (w_{ij}) :

$$w_{ij} = \frac{MinP_j + MaxP_j}{2}$$

dengan

w_{ij} = bobot antara variabel input ke- j dengan *neuron* pada kelas ke- i .

$MinP_i$ = nilai minimum pada variabel input ke- i .

$MaxP_i$ = nilai maksimum dari variabel input ke- i .

b. Bobot Bias (b_i)

$$b_i = e^{[1-\ln(1/K)]}$$

dengan

b_i = bobot bias *neuron* ke- i .

K = jumlah *neuron* target.

c. Set parameter *learning rate* (α).

d. Set maksimum epoh (MaxEpoh).

3. Set Epoh = 0.

4. Kerjakan jika Epoh < MaxEpoh

a. Epoh = Epoh + 1

- b. Pilih data secara acak, misalnya data terpilih data ke-z.
c. Cari jarak antara data ke-z dengan tiap bobot input ke-i (D_i):

$$D_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (w_{ij} - p_{zj})^2}$$

Penjumlahan negatif jarak plus bobot bias (a_i):
 $a_i = -D_i + b_i$

Mencari a_i terbesar:

- i. $\text{MaxA} = \max(a_i)$, dengan $i = 1, 2, \dots, K$.
ii. $\text{Idx} = 1$, sedemikian hingga $a_i = \text{MaxA}$.
d. Set output neuron ke-1 (y_i):
 $y(i) = 1$; jika $i = \text{Idx}$.
 $y(i) = 0$; jika $i \neq \text{Idx}$.

- e. Update bobot yang menuju ke neuron Idx :

$$w_{ji}^{\text{baru}} = w_{ji}^{\text{lama}} + \alpha (x_{ji} - w_{ji}^{\text{lama}})$$

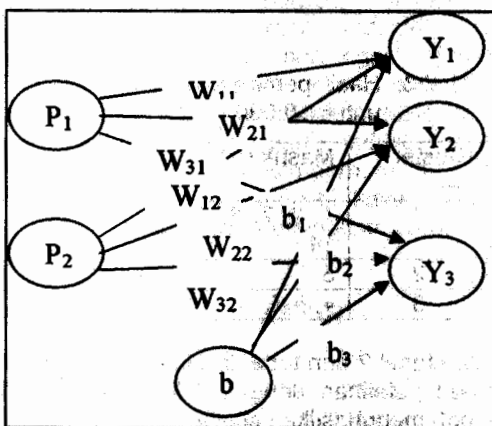
$$w(\text{Idx}, j) = w(\text{Idx}, j) + \alpha (p(z, j) - w(\text{Idx}, j))$$

- f. Update bobot bias:

$$c(i) = (1 - \alpha)e^{(1 - \ln(b(i)))} + \alpha a(i)$$

$$b(i) = e^{(1 - \ln(c(i)))}$$

Proses pembelajaran akan berlangsung terus hingga mencapai maksimum epoh.

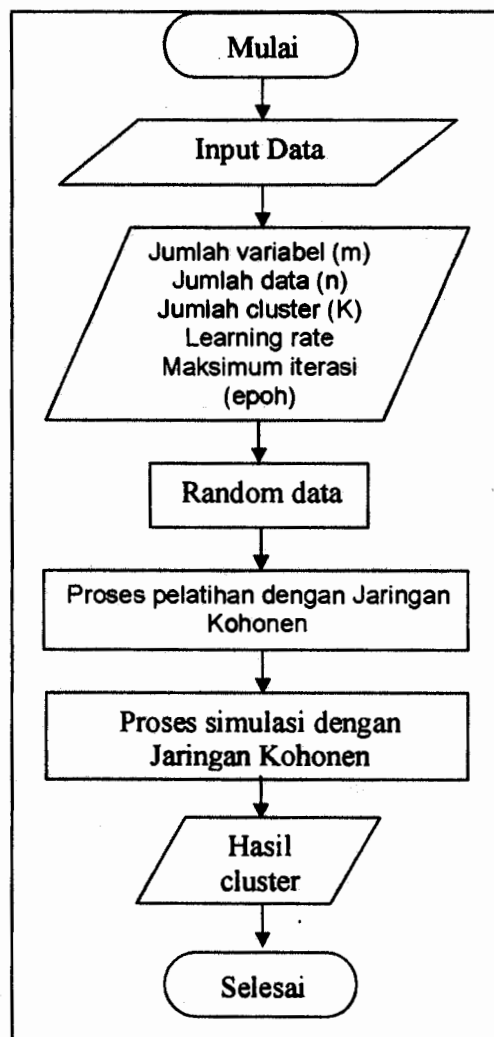


Gambar 1. Arsitektur Jaringan Kohonen

Jaringan Kohonen dapat mengenali dan mengklasifikasikan pola-pola dengan melakukan pelatihan (*training*) dari pola-

pola vektor input (masukan) data dengan vektor bobot sebagai penghubung antara layar masukan dan layar kompetisi dalam proses pelatihan. Dari proses pelatihan jaringan tersebut akan terbentuk cluster-cluster dari pola-pola yang dilatihkan.

Klasifikasi pola-pola tersebut nantinya dapat digunakan sebagai proses pengenalan pola-pola yang diujikan. Proses klasifikasi mencakup cara pengelompokan pola berdasarkan keserupaan ciri yang dimilikinya (*clustering*) dan pemberian label kelas atas masing-masing kelompok tersebut. Diagram alir implementasi pada Jaringan Kohonen disajikan pada gambar berikut.



Gambar 2. Diagram Implementasi Jaringan Kohonen

4. TERAPAN PADA DATA
PENCEMARAN UDARA

Berikut merupakan informasi awal yang digunakan dalam clustering data industri sumber pencemaran udara di Jawa Tengah tahun 2006 menggunakan jaringan syaraf tiruan Kohonen Neural Network :

Jumlah data (n) : 14
Jumlah variabel input (m) : 5
Jumlah cluster diinginkan (K) : 3

Learning rate (α) : 0.5

Data beban pencemaran udara pada sektor industri di Jawa Tengah tahun 2006 (ton/tahun) secara lengkap disajikan pada tabel 1. Pengambilan data dilakukan oleh Badan Pengelolaan dan Pengendalian Dampak Lingkungan (Bappedal) Propinsi Jawa Tengah Jalan Setiabudi Srandol Komplek Diklat Propinsi Jawa Tengah.

Tabel 1. Data beban pencemaran udara sektor industri di Jawa Tengah tahun 2006 (ton/tahun)

No	INDUSTRI	DEBU	SO ₂	NO ₂	HC	CO
1	Makanan	17.212,900	160.083,878	74.816,737	3.219,487	399,424
2	Minuman	14.783,549	138.034,875	63.495,986	2.775,775	344,381
3	Tekstil	94.220,918	876.275,960	409.535,961	17.621,236	2.186,081
4	Kayu	37.746,008	350.356,787	163.742,598	19.178,572	874,048
5	Olahan kayu	64.938,164	585.197,249	273.497,539	11.767,867	1.459,915
6	Kertas	4.995,420	490.970,353	21.712,842	934,244	133,504
7	Kimia dasar	6.127,549	56.987,602	27.825,416	1.145,976	142,169
8	Non logam	5.247,509	49.386,337	23.081,177	993,120	123,205
9	Semen	518,181	4.816,351	2.250,968	96,852	12,015
10	Kapur dan gips	10.085,093	19.659,868	10.865,165	1.889,810	234,446
11	Logam dasar	4.012,867	36.194,179	22.328,706	1.018,972	90,295
12	Hasil-hasil olahan logam	7.407,925	68.895,388	32.198,916	1.385,432	171,037
13	Rumah sakit	64,523	59,875	288,565	12,039	1,492
14	Perhotelan	99,836	92,747	433,486	18,650	2,312
Jumlah Total		267.460,442	2.837.011,449	1.126.074,041	62.058,032	6.174,306

Sumber : BAPPEDAL Propinsi Jawa Tengah

Berdasarkan input data pada tabel 1 kemudian dilakukan pelatihan jaringan masing-masing dengan 1.000 dan 10.000 epoh menggunakan paket program Matlab 7.0. Hasil pelatihan jaringan dari masing-masing epoh diperoleh keluaran sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil pembacaan clustering data untuk 1.000 epoh :

Cluster ke-	Masukan ke-
1	1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14
2	4, 5, 6
3	3

Tabel 3. Hasil pembacaan clustering data untuk 10.000 epoh :

Cluster ke-	Masukan ke-
1	1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14
2	3
3	4, 5, 6

Dari tabel 2 dan tabel 3 dapat dilihat bahwa hasil pelatihan dengan 1.000 dan 10.000 epoh menghasilkan cluster dengan anggota yang konsisten. Perbedaan hanya terletak pada penempatan cluster yang disebabkan oleh faktor pemilihan data secara acak (randomisasi). Secara detail hasil clustering disajikan pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil clustering data pencemaran udara sektor industri di Jawa Tengah tahun 2006 :

Cluster ke-	Jenis Industri
1	Makanan, Minuman, Kimia Dasar, Non Logam, Semen, Kapur dan Gips, Logam Dasar, Hasil-hasil Olahan Logam, Rumah Sakit, Perhotelan
2	Tekstil
3	Kayu, Olahan Kayu, Kertas

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan

1. Penyelesaian permasalahan clustering data menggunakan Jaringan Kohonen dipengaruhi oleh parameter-parameter pelatihan seperti jumlah cluster yang akan dibentuk, learning rate, maksimum iterasi (epoch) sehingga jika proses pelatihan dilakukan beberapa kali dengan data masukan yang sama, akan berpengaruh pada clustering data yang dihasilkan. Hal ini disebabkan pada Algoritma Kohonen untuk clustering data terdapat pemilihan data secara acak (randomisasi).
2. Hasil clustering pada data beban pencemaran udara pada sektor industri di Jawa Tengah pada tahun 2006 dengan menggunakan Jaringan Kohonen diperoleh :
 - a. Cluster I : industri tekstil.
 - b. Cluster II : industri makanan, industri minuman, industri kimia dasar, industri non logam, industri semen, industri kapur dan gips, industri logam dasar, industri hasil-hasil olahan logam, industri rumah sakit, dan industri perhotelan.
 - c. Cluster III : industri kayu, industri olahan kayu, dan industri kertas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Pengelola Program Hibah Penelitian PHK A2 Jurusan Matematika FMIPA UNDIP yang telah membiayai penelitian yang dilakukan penulis sehingga tulisan ini dapat diterbitkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bappedal. 2006. *Beban Pencemaran Udara Menurut Sumber*. Bappedal : Jawa Tengah
- Fausett, L. 1994. *Fundamentals of Neural Networks, Architectures, Algorithms, and Applications*. Prentice Hall : New Jersey
- Haryanto, L. 2004. *Membangun Perangkat Lunak Untuk Data Clustering Menggunakan Jaringan Syaraf Algoritma Kohonen Self Organizing*, Jurusan Teknik Informatika FT UII : Yogyakarta
<http://www.cse.cuhk.edu.hk/~idel98/tutorial.html>
- Germano, T. 1999. *Self Organizing Maps Tutor*. Springer Verlag : New York (diakses terakhir tanggal 11 April 2007 09.14 WIB)
<http://www.heatonresearch.com/articles/6/page2.html>
- Heaton, J. 2003. *Introduction to Neural Network with Java*. (diakses terakhir tanggal 30 Maret 2007 12.27 WIB)
<http://www.emsl.pnl.gov:2080/docs/cie/neural/neural.homepage.html>
- Neural Networks at Pacific Northwest National Laboratory. *Artificial Neural Networks*. (diakses terakhir tanggal 30 April 2007 16.52 WIB)
http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol4/cs11/report.html
- Stergiou, C. and Siganos, D. 1989. *Neural Networks*. Pacific Northwest National Laboratory : New York (diakses terakhir tanggal 30 Maret 2007 12.04 WIB)
<http://www.cs.stir.ac.uk/~lss/NNIntro.html>
- Smith, L. 1996. *An Introduction to Neural Networks*. Department of Computing and Mathematics University of Stirling : Scotland (diakses terakhir tanggal 11 April 2007 10.32 WIB)
- Johnson, R. A and Wichern, D.W. 1982. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Prentice-Hall Inc : New Jersey
- Kusumadewi, S. 2003. *Artificial Intelligence Teknik dan Aplikasinya*. Graha Ilmu : Yogyakarta
- Sastrawijaya, A. T. 2000. *Pencemaran Lingkungan*. Surabaya : Rineka Cipta
- Siang, J. J. 2005. *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan Matlab*. Penerbit Andi : Yogyakarta

- Sichah, I. A. dan Saffitri, D. 2005. *Statistika Multivariat*. Jurusan Matematika Undip : Semarang
- Siong, A. W. dan Resmana. 1999. *Pengenalan Citra Objek Sederhana dengan Menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan SOM*, jurnal Pusat Komputer Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Petra : Surabaya

PENGARUH POROSITAS DAN PERMEABILITAS TANAH SERTA JARAK TANGKI SEPTIK TERHADAP KONSENTRASI BAKTERI *ESCHERICHIA COLI* DALAM AIR TANAH DANGKAL DI WILAYAH PESISIR (STUDI KASUS : PESISIR SEMARANG UTARA)

Irawan Wisnu Wardhana^{*)}, Badrus Zaman^{*)}

ABSTRACT

Ground water exploitation in coastal area which have high ground water level as physically conditions, medium to high permeability and high porosity because of septic tank location not yet fulfilled safety distance to well needs to be considered because bacteria from septic tank could contaminate ground water and causes various disease. The purpose of this research was to know the *E. Coli* bacteria concentration in ground water at district of north Semarang as source of clean water as and to know the relationship between porosity, permeability of soil and distance from septic tank to well with *E. Coli* concentration. Subjects of this research were ground water well that were still being used by community. The sample total were 25 ground water wells and 13 soil sample that were collected based on purposive method. Water sampling was based on sampling method of Indonesian Health Departement (1997), while soil sample was done by soil boring in ± 1 metre depth. Data collecting was performed by using tube fermentation 3-3-3 method. The result of this research showed that 25 sample checked were not fulfilled drinking water requirements but 4 sample still fulfilled clean water requirements. Statistical analysis showed that distance variable have a strong relationship with water bacteriological quality with correlation value -83,5%. Porosity and permeability have a weak relationship to water bacteriological quality with correlation value 28,2% and 3,1%. Exponential equation from relationship between well to septic tank distance and *E. Coli* concentration, give recommended well to septic tank distance. The safety distance recommended should be 15 metre to avoid Fecal contamination.

Key words : porosity, permeability, ground water, *Escerechia Coli* bacteria

PENDAHULUAN

Terjadinya penurunan kualitas air tanah dangkal disebabkan oleh berbagai macam faktor. Salah satunya adalah pencemaran oleh limbah rumah tangga berupa *faeces* (tinja) dan *urine* (air seni) yang berasal dari rembesan tangki septik. Jarak tangki septik dengan sumur berpengaruh terhadap kuantitas rembesan. Pencemaran air tanah dangkal oleh *faeces* dan *urine* dapat diketahui melalui keberadaan bakteri indikator. Keberadaan bakteri indikator ini memberi peluang terdapatnya berbagai macam organisme patogenik. Bakteri indikator yang sering digunakan adalah bakteri *E. Coli*. Bakteri ini dianggap sebagai indikator polusi tinja yang dapat diandalkan (Pelczar & Chan, 1988). Penyebaran bakteri *E. Coli* dipengaruhi oleh porositas dan permeabilitas tanah. Semakin besar nilai porositas dan permeabilitas tanah, makin besar kemampuan melewati air

yang berarti jumlah bakteri yang dapat bergerak mengikuti aliran air tanah juga makin besar (Sosrodarsono & Kensaku Takeda, 2003).

Kecamatan Semarang Utara merupakan wilayah pesisir dengan kepadatan penduduk yang menempati urutan ke 4 dari 16 kecamatan yang ada di Semarang. Kepadatan penduduk pada tahun 2004 mencapai 11.328 jiwa/km². Jumlah keluarga yang memanfaatkan air sumur sebagai sumber air di kecamatan ini mencapai jumlah yang masih cukup tinggi. Berdasarkan data statistik, di kecamatan Semarang Utara jumlah keluarga yang memanfaatkan air sumur sebagai sumber air sebesar 30,36% atau sebanyak 8322 sumur (BPS Kota Semarang, 2004). Di daerah penelitian kesadaran masyarakat akan arti pentingnya sistem sanitasi masih kurang. Ini tercermin dari kondisi saluran air limbah permukiman yang sebagian besar mengalami penyumbatan. Jarak sumur

^{*)} Program Studi Teknik Lingkungan FT Undip
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang Semarang

PENGARUH POROSITAS DAN PERMEABILITAS TANAH SERTA JARAK TANGKI SEPTIK TERHADAP KONSENTRASI BAKTERI *ESCHERICHIA COLI* DALAM AIR TANAH DANGKAL DI WILAYAH PESISIR (STUDI KASUS : PESISIR SEMARANG UTARA)

Irawan Wisnu Wardhana¹⁾, Badrus Zaman²⁾

ABSTRACT

Ground water exploitation in coastal area which have high ground water level as physically conditions, medium to high permeability and high porosity because of septic tank location not yet fulfilled safety distance to well needs to be considered because bacteria from septic tank could contaminate ground water and causes various disease. The purpose of this research was to know the *E. Coli* bacteria concentration in ground water at district of north Semarang as source of clean water as and to know the relationship between porosity, permeability of soil and distance from septic tank to well with *E. Coli* concentration. Subjects of this research were ground water well that were still being used by community. The sample total were 25 ground water wells and 13 soil sample that were collected based on purposive method. Water sampling was based on sampling method of Indonesian Health Departement (1997), while soil sample was done by soil boring in ± 1 metre depth. Data collecting was performed by using tube fermentation 3-3-3 method. The result of this research showed that 25 sample checked were not fulfilled drinking water requirements but 4 sample still fulfilled clean water requirements. Statistical analysis showed that distance variable have a strong relationship with water bacteriological quality with correlation value -83,5%. Porosity and permeability have a weak relationship to water bacteriological quality with correlation value 28,2% and 3,1%. Exponential equation from relationship between well to septic tank distance and *E. Coli* concentration, give recommended well to septic tank distance. The safety distance recommended should be 15 metre to avoid Fecal contamination.

Key words : porosity, permeability, ground water, *Escerechia Coli* bacteria

PENDAHULUAN

Terjadinya penurunan kualitas air tanah dangkal disebabkan oleh berbagai macam faktor. Salah satunya adalah pencemaran oleh limbah rumah tangga berupa *faeces* (tinja) dan *urine* (air seni) yang berasal dari rembesan tangki septik. Jarak tangki septik dengan sumur berpengaruh terhadap kuantitas rembesan. Pencemaran air tanah dangkal oleh *faeces* dan *urine* dapat diketahui melalui keberadaan bakteri indikator. Keberadaan bakteri indikator ini memberi peluang terdapatnya berbagai macam organisme patogenik. Bakteri indikator yang sering digunakan adalah bakteri *E. Coli*. Bakteri ini dianggap sebagai indikator polusi tinja yang dapat diandalkan (Peiczar & Chan, 1988). Penyebaran bakteri *E. Coli* dipengaruhi oleh porositas dan permeabilitas tanah. Semakin besar nilai porositas dan permeabilitas tanah, makin besar kemampuan melewati air

yang berarti jumlah bakteri yang dapat bergerak mengikuti aliran air tanah juga makin besar (Sosrodarsono & Kensaku Takeda, 2003).

Kecamatan Semarang Utara merupakan wilayah pesisir dengan kepadatan penduduk yang menempati urutan ke 4 dari 16 kecamatan yang ada di Semarang. Kepadatan penduduk pada tahun 2004 mencapai 11.328 jiwa/km². Jumlah keluarga yang memanfaatkan air sumur sebagai sumber air di kecamatan ini mencapai jumlah yang masih cukup tinggi. Berdasarkan data statistik, di kecamatan Semarang Utara jumlah keluarga yang memanfaatkan air sumur sebagai sumber air sebesar 30,36% atau sebanyak 8322 sumur (BPS Kota Semarang, 2004). Di daerah penelitian kesadaran masyarakat akan arti pentingnya sistem sanitasi masih kurang. Ini tercermin dari kondisi saluran air limbah permukiman yang sebagian besar mengalami penyumbatan. Jarak sumur

¹⁾ Program Studi Teknik Lingkungan FT Undip
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang Semarang

penduduk dengan sumber pencemar dalam hal ini tangki septik masih ada yang kurang dari 10 meter. Disamping itu angka kejadian diare pada tahun 2005 tercatat sebagai salah satu dari 5 penyakit terbesar dengan jumlah kasus mencapai 1.254 penderita (Dinas kesehatan kota Semarang, 2005).

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah: (1) Mengetahui konsentrasi bakteri coli pada air tanah dangkal sebagai sumber air bersih masyarakat di wilayah pesisir akibat rembesan air dari tangki septik, (2) Mengetahui pengaruh porositas dan permeabilitas tanah serta jarak dari tangki septik ke sumur terhadap konsentrasi bakteri *E. Coli*

METODOLOGI

Penelitian ini mengambil lokasi di 2 kelurahan pada kecamatan Semarang Utara yaitu kelurahan Bandarharjo dan kelurahan Kuningan dengan kelurahan Dadapsari sebagai kontrol. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2006. Jumlah sampel 25 buah sumur dan 13 sampel tanah dengan penentuan secara purposive. 9 sampel sumur dan 5 sampel tanah diambil di kelurahan Kuningan dan 15 sampel sumur dan 7 sampel tanah di kelurahan Bandarharjo. Untuk mengetahui koordinat dari titik-titik sampel maka digunakan GPS (*Global Positioning System*). GPS mempermudah identifikasi dan pemetaan yang benar.

Pengambilan sampel air berdasarkan metode pengambilan contoh air Departemen Kesehatan Air RI (1997), sedangkan sampel tanah dilakukan dengan melakukan boring dengan kedalaman \pm 1m. Peralatan yang digunakan untuk pengambilan sampel air adalah dengan botol steril yang telah disediakan oleh laboratorium pemeriksaan air. Sedangkan untuk pengambilan sampel tanah menggunakan hand bor dan tabung sampel. Kualitas fisik dan kimia air juga diperiksa untuk mendukung hasil penelitian. Pemeriksaan kualitas fisik meliputi suhu dan kekeruhan. Kualitas kimia meliputi pH. Parameter pendukung lain yang juga diperiksa adalah salinitas.

Pemeriksaan bakteriologis sampel air dengan parameter bakteri *E. Coli* menggunakan metode MPN tabung berganda 3-3-3. Pemeriksaan sampel air sumur pada penelitian ini dilakukan pada

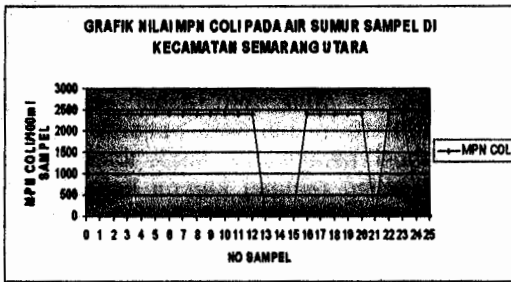
Balai Laboratorium Kesehatan (BLK) kota Semarang yang meliputi 2 tes yaitu tes pemeriksaan dan tes penegasan. Untuk pemeriksaan sampel tanah dilakukan pada laboratorium Mekanika Tanah jurusan Teknik Sipil UNDIP. Pemeriksaan porositas tanah dengan oven 100°C (droogstoof) 110 °C sedangkan pemeriksaan permeabilitas tanah dengan Permeater.

Hasil pengukuran kualitas bakteriologis air dibandingkan dengan Permenkes RI no 416/MENKES/PER/XI/1990 bahwa kandungan bakteri *E. Coli* dan Total koliform dalam air bersih 50/100 ml untuk air non perpipaan dan 10/100 ml untuk air perpipaan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa kualitas bakteriologis air

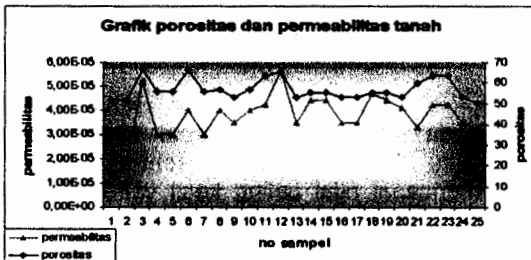
Berdasarkan hasil pemeriksaan sampel, dari 25 sampel air sumur dangkal yang diperiksa, semua sumur sudah terkontaminasi oleh bakteri *E. Coli*. Untuk fungsi sebagai sumber air bersih dari hasil pemeriksaan menunjukkan 4 sampel air sumur yang memenuhi syarat sedangkan 21 sampel lainnya mengandung konsentrasi *E. Coli* >2400 per 100 ml sampel. Walaupun dari hasil pemeriksaan menunjukkan ada 4 sampel yang masih memenuhi syarat sebagai sumber air bersih namun kesemua sampel tidak memenuhi syarat sebagai sumber air minum karena tidak memenuhi standar air minum yang mengacu pada Kepmenkes no 907 tahun 2002 dimana kandungan bakteri *E. Coli* dan Total koliform dalam air minum harus nol. Dari hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa seluruh sampel yang diambil di kelurahan Kuningan memiliki konsentrasi *E. Coli* >2400 /100 ml sampel. Artinya tidak ada sumur yang memenuhi syarat sebagai sumber air bersih. Konsentrasi *E. Coli* di setiap titik sampel dapat dilihat pada grafik berikut ini:



Gambar 1 Grafik nilai MPN Coli pada air sumur sampel di kecamatan Semarang Utara

Analisa porositas dan permeabilitas tanah serta jarak dari tangki septik ke sumur

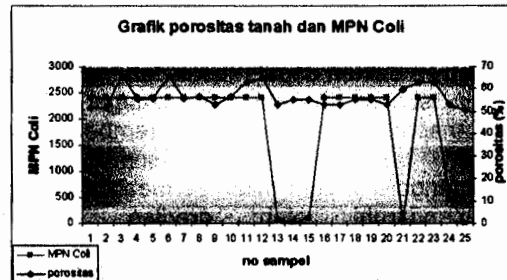
Berdasarkan hasil pemeriksaan diperoleh nilai porositas tanah di kecamatan Semarang Utara berkisar pada nilai 50,14% - 66,46%. Nilai permeabilitas tanah berkisar pada nilai $1,89922E-5$ cm/sec - $5,65301E-5$ cm/sec. Nilai porositas tanah rata-rata di kelurahan Bandarharjo adalah 54,35 % dengan nilai permeabilitas tanah rata-rata sebesar $3,64E-5$ cm/sec. Sedangkan nilai porositas tanah rata-rata di kelurahan Kuningan adalah sebesar 60,57 % dengan nilai permeabilitas tanah rata-rata sebesar $4,06E-5$ cm/sec. Gambaran nilai porositas dan permeabilitas tanah disetiap titik sampel ditampilkan pada gambar dibawah ini:



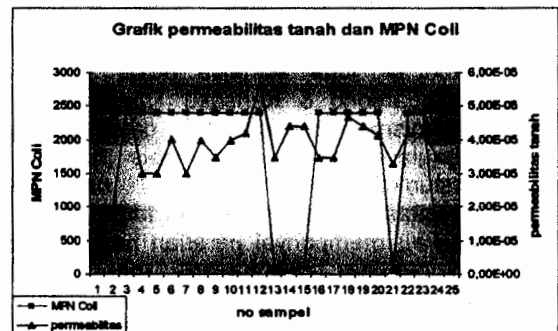
Gambar 2 Grafik porositas dan permeabilitas tanah di kecamatan Semarang Utara

Dari grafik terlihat bahwa kenaikan nilai porositas selalu diikuti oleh kenaikan nilai permeabilitas tanah. Namun jika dilihat nilai porositas dan permeabilitas pada kedua lokasi sampling berdasarkan kriteria menunjukkan bahwa nilai porositas pada kedua lokasi tinggi namun permeabilitas tanahnya sangat rendah. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Sosrodarsono & Kensaku Takeda (2003)

bahwa porositas yang lebih besar tidak selalu disertai oleh permeabilitas yang lebih baik. Kondisi ini terutama terjadi pada kondisi tanah yang termasuk jenis lempung seperti jenis tanah pada kedua lokasi pengambilan sampel. Menurut Sosrodarsono & Kensaku Takeda (2003) tanah lempung memiliki porositas yang sangat besar tetapi permeabilitasnya kecil karena pori-pori tanahnya sangat kecil sehingga kemampuan tanah melewatkan air menjadi berkurang. Perbandingan nilai porositas dan permeabilitas tanah terhadap konsentrasi *E. Coli* dapat dilihat pada grafik 3 dan 4.



Gambar 3 Grafik porositas tanah dan MPN Coli



Gambar 4 Grafik permeabilitas tanah dan MPN Coli

Grafik 3 dan 4 menunjukkan bahwa kenaikan atau penurunan porositas maupun permeabilitas tanah tidak secara nyata mempengaruhi kenaikan dan penurunan konsentrasi *E. Coli*. Berdasarkan hasil analisis statistik (analisis terlampir), korelasi antara porositas dan permeabilitas tanah terhadap kualitas bakteriologis air secara berturut-turut adalah sebesar 28,2% dan 3,1%. Koefisien korelasi antara kedua variabel bertanda positif (+) menandakan bahwa hubungan yang terjadi searah. Artinya semakin besar nilai porositas dan permeabilitas tanah maka konsentrasi *E. Coli* semakin besar.

Berdasarkan kriteria penilaian keeratan hubungan seperti yang telah dijelaskan pada bab IV, nilai korelasi antara porositas terhadap kualitas bakteriologis air termasuk dalam kriteria hubungan yang rendah sedangkan permeabilitas tanah memiliki hubungan yang sangat rendah terhadap kualitas bakteriologis air. Atau dapat dikatakan bahwa penurunan dan kenaikan konsentrasi *E. Coli* pada sumur penduduk tidak terlalu dipengaruhi oleh nilai porositas dan permeabilitas tanah. Kondisi wilayah penelitian dengan porositas tinggi namun permeabilitas rendah jika dikaitkan dengan teori maka pergerakan bakteri yang mengikuti aliran air tanah seharusnya kecil namun kenyataan dilapangan menunjukkan hal sebaliknya. Hal ini dapat dijelaskan bahwa bakteri dapat masuk dan mencemari air sumur melalui air sebagai media transportasinya. Besarnya rembesan air dari tangki septik ke sumur selain dipengaruhi oleh nilai permeabilitas juga dipengaruhi oleh gradien hidrolik. Berdasarkan hukum Darcy (Soedarmo, 2006) bahwa kuantitas/debit air persatuan waktu adalah proporsional dengan gradien hidroliknya. Semakin besar gradien hidrolik maka debit rembesan semakin besar, bakteri *E. Coli* yang bergerak mengikuti aliran air juga semakin besar. Menurut Sosrodarsono & Kensaku Takeda (2003) mekanisme pencemaran dalam tanah sebagian besar terjadi atas dukungan tekstur/komposisi tanah disamping porositas dan permeabilitas tanah dimana daur air mempunyai peranan besar dalam memperluas jangkauan pencemaran. Tekstur/komposisi tanah di wilayah penelitian sebagian besar tersusun dari material lempung. Salah satu sifat tanah lempung adalah memiliki kapilaritas tinggi. Kondisi ini akan berpengaruh pada penyebaran bakteri *E. Coli* secara vertikal..

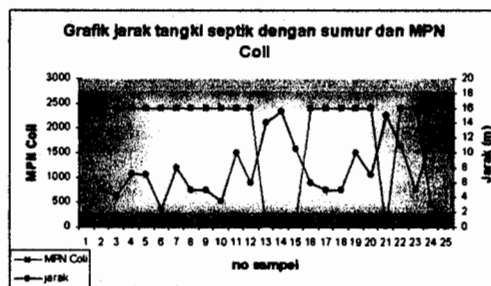
Hasil pengukuran jarak tangki septik dengan sumur terdekat pada kecamatan Semarang Utara didapatkan:

Tabel 1 Distribusi pengukuran jarak tangki septik dengan sumur terdekat milik warga di kecamatan Semarang Utara

	Jarak tangki septik dengan sumur terdekat		
	>10 m	10	<10 m
Jumlah sampel	7	2	16

(Sumber:Hasil penelitian, 2006)

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa dari 25 sampel yang diambil sebesar 28 % sumur penduduk yang berjarak > 10m dari tangki septik, 8% berjarak 10 m dan 64% berjarak < 10 m. Distribusi pengukuran jarak tidak merata pada setiap rentang karena kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa rata-rata sumur penduduk memiliki jarak < 10 m terhadap tangki septik. Hal ini menunjukkan faktor jarak masih belum memenuhi standar bahwa jarak minimal sumur dengan tangki septik adalah 10 m (Dep. Kes. RI, 1989/1990) dikarenakan kondisi wilayah permukiman yang padat penduduk. Sehingga sulit untuk menerapkan faktor jarak ideal bagi pembuatan sumur dilihat jaraknya terhadap tangki septik. Untuk distribusi jarak > 10 m dikarenakan sistem yang digunakan masyarakat adalah sistem komunal.Distribusi pengukuran jarak dilihat terhadap konsentrasi *E. Coli* ditampilkan pada gambar 5.



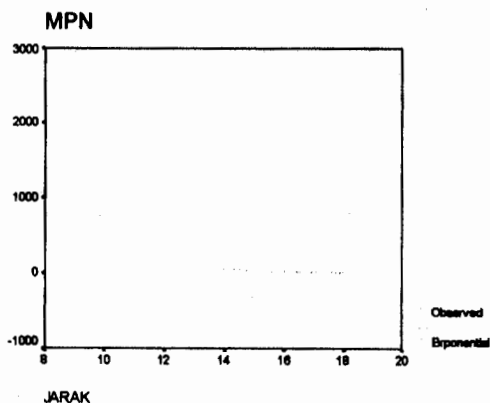
Gambar 5 Grafik jarak tangki septik dengan sumur dan MPN Coli

Dari grafik dapat dilihat bahwa pada saat jarak mencapai nilai tertinggi yaitu 18 m maka konsentrasi *E. Coli* mencapai nilai paling kecil yaitu 9/100 ml sampel. Menurut Soeparnan & Suparmin (2002) bahwa pencemaran yang ditimbulkan oleh bakteri terhadap air yang ada di dalam tanah dapat mencapai jarak 11 m searah dengan arah aliran air tanah. Pada sampel dengan jarak > 11 m dapat dilihat bahwa didalam air masih terdapat bakteri *E. Coli* dengan jumlah 23/100 ml sampel-460/100 ml sampel. Hal ini dikarenakan selain secara horizontal, pencemaran bakteri di dalam tanah juga terjadi secara vertikal, tergantung dari tinggi muka air. Di daerah penelitian, tinggi muka air tanah rata-rata di kelurahan Bandarharjo adalah 0,48 m sedangkan di kelurahan Kuningan adalah 0,54 m. Pencemaran oleh

bakteri secara vertikal adalah 2 m sehingga dengan kondisi muka air tanah yang sangat dangkal di wilayah penelitian maka pencemaran oleh bakteri *E. Coli* masih terjadi walaupun pada jarak > 11 m. Berdasarkan hasil analisis statistik (analisis terlampir), menunjukkan bahwa korelasi antara jarak dari sumur ke tangki septik terhadap kualitas bakteriologis air adalah sebesar -83,5%. Berdasarkan kriteria penilaian keeratan hubungan seperti yang telah dijelaskan pada bab IV, nilai korelasi ini termasuk dalam kriteria hubungan yang sangat erat. Koefisien korelasi bertanda negatif (-) menandakan bahwa hubungan yang terjadi berlawanan arah. Artinya semakin jauh jarak antara tangki septik dengan sumur terdekat maka konsentrasi *E. Coli* semakin berkurang

Hubungan jarak tangki septik dan sumur terdekat dengan nilai MPN Coli

Dari data hasil penelitian, ada 19 sampel yang memiliki nilai MPN diatas 2400. Sehingga untuk nilai MPN diatas 2400 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan eksponensial yang didapat dari kurva eksponensial data MPN yang lebih kecil. Analisa SPSS *Regression curve estimation* didapatkan hasil kurva eksponensial dengan $R^2 = 0,75546$ dan persamaan eksponensial $Y = 231238.594574e^{-0.587179}$ kurva eksponensialnya tampak pada grafik berikut:



Gambar 6 Kurva eksponensial nilai MPN Coli terhadap jarak tangki septik dengan sumur terdekat

Dengan persamaan eksponensial yang diperoleh dari Analisa SPSS *Regression curve estimation* $Y = 231238.594574e^{-0.587179}$ maka dapat

dihitung jarak aman untuk tangki septik dengan sumur pada wilayah penelitian. Sehingga air sumur layak digunakan sebagai sumber air bersih bahkan aman jika dikonsumsi dengan konsentrasi *E. Coli* berada dibawah 50 per 100 ml sampel untuk memenuhi persyaratan sebagai air bersih dan nol untuk persyaratan sebagai air minum. Jarak aman yang dianjurkan adalah 15 m. Perhitungan jarak aman dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2 Data perhitungan jarak aman yang dianjurkan antara sumur dengan tangki septik

No	Jarak aman yang dianjurkan	Perhitungan jumlah MPN Coli $Y = 231238.594574e^{-0.587179}$
1	15	34,588
2	18	5,942
3	20	1,836
4	25	0,097
5	28	0,017
6	30	0,005
7	31	0,003
8	32	0,002
9	33	0,001
10	34	0,000

(Sumber:Hasil Perhitungan, 2006)

Parameter Fisika Dan Kimia Air Tanah Dangkal Di Wilayah Penelitian

Berdasarkan hasil analisis data dan analisis statistik didapatkan:

- Temperatur air sumur berkisar pada nilai antara 25-30 °C. Jika dibandingkan dengan standar yang berlaku dalam Permenkes RI no 416/MENKES/PER/XI/1990 bahwa temperatur air bersih adalah ± 3 °C temperatur udara setempat maka angka tersebut masih memenuhi syarat. Korelasi temperatur terhadap kualitas bakteriologis air adalah -12,3%.
- Sebanyak 22 sampel memiliki pH sebesar 8 sedangkan 3 sampel lainnya memiliki pH 9. Jika dibandingkan dengan standar yang berlaku dalam Permenkes RI no 416/MENKES/PER/XI/1990 bahwa pH air bersih yang diperbolehkan adalah 6,5-9 maka pH untuk sampel air sumur masih memenuhi syarat. Korelasi pH

yang terjadi berlawanan arah. Artinya semakin besar nilai salinitas maka konsentrasi *E. Coli* semakin berkurang.

KESIMPULAN

1. Konsentrasi *E. Coli* berkisar antara 9/100 ml sampel s/d >2400/100 ml sampel. Berdasarkan Permenkes RI no 416/MENKES/PER/XI/1990 dari hasil pemeriksaan menunjukkan 4 sampel air sumur yang memenuhi syarat sedangkan 21 sampel lainnya mengandung konsentrasi *E. Coli* dalam jumlah > 2400/100 ml sampel.
2. Dari ketiga variabel bebas (porositas dan permeabilitas tanah serta jarak tangki septik dengan sumur terdekat) yang berpengaruh kuat terhadap kualitas bakteriologis air adalah jarak tangki septik ke sumur dengan korelasi sebesar - 83,5%. Porositas tanah memiliki hubungan yang rendah terhadap kualitas bakteriologis air dengan korelasi sebesar 28,2% sedangkan permeabilitas tanah memiliki hubungan yang sangat rendah terhadap kualitas bakteriologis air dengan korelasi sebesar 3,1%.

SARAN

1. Frekuensi pengurasan secara teratur dapat membantu memperbaiki kualitas air sumur agar dapat digunakan sebagai sumber air bersih.

- Damanhuri, Enri. 1993. *Diktat kuliah TL-128 Statistika edisi semester 1*. Jurusan Teknik Lingkungan, fakultas Teknik dan Perencanaan. ITB
- Deming, D. 2002. *Introduction to hidrogeology*, First edition. McGraw-Hill Book Co. New york
- Depkes RI. 1995. *Manual teknis upaya penyehatan air*. Ditjen PPM dan PLP, Depkes RI. Jakarta
- Depkes RI 1989/1990. *Petunjuk pelaksanaan penyediaan air air bersih*. Ditjen PPM dan PLP. Jakarta
- Desvita, 2001. *Hubungan jarak sumber pencemar, kondisi fisik sarana dan perilaku pengguna sumur gali dengan kualitas bakteriologis air sumur gali di kelurahan keparakan kota Yogyakarta tahun 2000*. Tesis program studi ilmu kesehatan kerja jurusan ilmu-ilmu kesehatan. UGM
- Elisa, 2002. *Tekstur tanah*. www.elisa.ugm.ac.id/files.cahyonoagus/2JXCFYXQ/sifat%20fisika%20tana%20diperbarui%20maret%200002.doc
- Gifary, Lalu Ahmad. 2005. *Analisis kualitas air sumur gali akibat pengaruh limbah domestik permukiman dengan indeks pencemaran air ditinjau dari parameter N-Amonia, Klorida, Detergen dan Zat organik sebagai KMnO₄*. Skripsi Program

- terhadap kualitas bakteriologis air adalah 20,7%
- c) Kekeruhan air sumur berkisar pada nilai 0,037-4,3 NTU. Jika dibandingkan dengan standar yang berlaku dalam Permenkes RI no 416/MENKES/PER/XI/1990 bahwa kekeruhan air bersih yang diperbolehkan adalah 25 NTU, maka kekeruhan untuk sampel air sumur masih memenuhi syarat. Korelasi kekeruhan terhadap kualitas bakteriologis air adalah 16,3%.
- d) Salinitas air sumur sampel berkisar pada nilai 0,5-12,7 ‰. Korelasi antara salinitas dengan kualitas bakteriologis air adalah -49,1%. Angka ini menunjukkan bahwa salinitas dan kualitas bakteriologis air memiliki hubungan yang sedang. Hubungan yang terjadi berlawanan arah. Artinya semakin besar nilai salinitas maka konsentrasi *E. Coli* semakin berkurang.

KESIMPULAN

1. Konsentrasi *E. Coli* berkisar antara 9/100 ml sampel s/d >2400/100 ml sampel. Berdasarkan Permenkes RI no 416/MENKES/PER/XI/1990 dari hasil pemeriksaan menunjukkan 4 sampel air sumur yang memenuhi syarat sedangkan 21 sampel lainnya mengandung konsentrasi *E. Coli* dalam jumlah > 2400/100 ml sampel.
2. Dari ketiga variabel bebas (porositas dan permeabilitas tanah serta jarak tangki septik dengan sumur terdekat) yang berpengaruh kuat terhadap kualitas bakteriologis air adalah jarak tangki septik ke sumur dengan korelasi sebesar - 83,5%. Porositas tanah memiliki hubungan yang rendah terhadap kualitas bakteriologis air dengan korelasi sebesar 28,2% sedangkan permeabilitas tanah memiliki hubungan yang sangat rendah terhadap kualitas bakteriologis air dengan korelasi sebesar 3,1%.

SARAN

1. Frekuensi pengurasan secara teratur dapat membantu memperbaiki kualitas air sumur agar dapat digunakan sebagai sumber air bersih.

2. Di permukiman dengan kepadatan tinggi perlu dibangun septik tank komunal untuk mencegah meluasnya pencemaran terhadap air tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G dan Sri sumestri santika. 1984. *Metoda penelitian air*. Usaha nasional. Surabaya
- Anonim. 1989. *Pilihan teknologi volume II limbah manusia*. Bandung
- Anonim. 2001. *Air bawah tanah (Ground water)*. http://www.lablinc.or.id/_utibin/shtml.exe/hidro/bawahtanah/air-bwhtanah/map1?276,1. (Diakses pada tanggal 27 Agustus 2006)
- Anonim. 2005. Bab III Assessment. <http://library.gunadarma.ac.id/filter/disk1/8/jbptgunadarma-gdl-course-2005timpenaja-365-bablii.doc> (Diakses pada tanggal 10 Oktober 2006)
- Damanhuri, Enri. 1993. *Diktat kuliah TL-128 Statistika edisi semester 1*. Jurusan Teknik Lingkungan, fakultas Teknik dan Perencanaan. ITB
- Deming, D. 2002. *Introduction to hidrogeology*, First edition. McGraw-Hill Book Co. New york
- Depkes RI. 1995. *Manual teknis upaya penyehatan air*. Ditjen PPM dan PLP, Depkes RI. Jakarta
- Depkes RI 1989/1990. *Petunjuk pelaksanaan penyediaan air air bersih*. Ditjen PPM dan PLP. Jakarta
- Desvita, 2001. *Hubungan jarak sumber pencemar, kondisi fisik sarana dan perilaku pengguna sumur gali dengan kualitas bakteriologis air sumur gali di kelurahan keparakan kota Yogyakarta tahun 2000*. Tesis program studi ilmu kesehatan kerja jurusan ilmu-ilmu kesehatan. UGM
- Elisa, 2002. *Tekstur tanah*. www.elisa.ugm.ac.id/files.cahyonoagus/2JXCFYXQ/sifat%20fisika%20tanah%20diperbarui%20maret%200002.doc
- Gifary, Lalu Ahmad. 2005. *Analisis kualitas air sumur gali akibat pengaruh limbah domestik permukiman dengan indeks pencemaran air ditinjau dari parameter N-Amonia, Klorida, Detergen dan Zat organik sebagai KMnO₄*. Skripsi Program

- studi Teknik Lingkungan UNDIP. Semarang
- J Kodoatie, Robert dan Roestam Syarif. 2005. *Pengelolaan sumber daya air terpadu*. Andi offset. Yogyakarta
- Kaha, Mochtar Lintang, 1992. *Uji Alat Ukur yang Digunakan dalam Inspeksi Kualitas Air Sumur Gali, Di Dinas Kesehatan Semarang*. FKM UNDIP. Semarang
- Pelczar, Michael J dan E.C.S Chan. 1988. *Dasar-dasar mikrobiologi*. UI-PRESS. Jakarta
- Pratisto, Arif. 2005. *Cara mudah mengatasi masalah statistik dan rancangan percobaan dengan spss 12*. Pt Elex Media Komputindo kelompok Gramedia. Jakarta
- Rocchaddi, B. 2001. *Model aliran air tanah dangkal di wilayah pantai Semarang*. Lemlit. UNDIP
- Soedarmo, Jatmiko dan S.J Edy purnomo. 2005. *Mekanika tanah 1*. Kanisius. Yogyakarta
- Soemirat slamet, Juli. 1994. *Kesehatan Lingkungan*. Gadjah mada university press. Yogyakarta
- Soeparman dan suparmin. 2002. *Pembuangan tinja dan limbah cair*. Penerbit buku kedokteran. Jakarta
- Sosrodarsono, Suyono dan kensaku takeda. 2003. *Hidrologi untuk pengairan*. PT Prandnya paramita. Jakarta
- Steel, Ernest. 1960. *Water suply and sewerage*. Mc Graw Hill Bor New York. Tokyo
- Sugiharto. 1987. *Dasar-dasar pengelolaan air limbah*. UI-PRESS. Jakarta
- Sugiyono. 2006. *Statistika untuk penelitian*. CV Alfabeta. Bandung
- Sunarto. 1991. *Geomorfologi pantai*. Pusat antar ilmu teknik. UGM
- Supirin. 2002. *Pelestarian sumber daya tanah dan air*. Andi offset. Yogyakarta
- Supriharyono. 2002. *Pelestarian dan pengelolaan sumber daya alam d wilayah pesisir tropis*. PT Gramedia pustaka utama. Jakarta
- Sutrisno, totok. 2002. *Teknologi penyediaan air bersih*. Rineka cipta. Jakarta
- Tahuk, A.A. 2000. *Kualitas air sumur gali di permukiman padat ditinjau dari parameter E Coli (Studi kasus kawasan Malioboro)*. skripsi STTL "YLH", Yogyakarta
- Todd, D. K. 1980. *Ground water hidrology 2nd edition*. John Wiley and sons New york. Chischester Brisbane. Toronto
- Yuni Atmojo, Tri, Tonny Bachtiar, Ocky Karna Radjasa dan Agus sabdono. 2004. *Kandungan koprastanol dan bakteri Cilform pada lingkungan perairan sungai, muara, dan pantai di Banjir Kanal Timur, Semarang pada monsun timur*. Jurnal Ilmu Kelautan vol. 9 (1) : 54-60. UNDIP

PENGARUH GRADIEN KECEPATAN DAN DISSOLVED OXIGEN TERHADAP PENYISIHAN COD DAN NH_3 DENGAN SIMULTANEOUS NITRIFICATION DENITRIFICATION PADA SISTEM LUMPUR AKTIF

Junaidi^{*)}

ABSTRACT

Biological wastewater treatment which is commonly employed is activated sludge system. Its aim is to coagulate suspended, colloidal and dissolved organic matters in the wastewater. Conventional activated sludge consists of aeration tank and sedimentation tank. Organic removal can be identified with COD (Chemical Oxygen Demand) values. Ammonia (NH_3) can be removed in activated sludge process in 2 stages nitrification and denitrification. These stages are usually conducted in 2 separate tanks, aerobic tank for nitrification and anoxic/anaerobic tank for denitrification. However, This experiment attempted to remove ammonia in 1 tank, with Simultaneous Nitrification Denitrification (SND). Application of Granular Activated Carbon (GAC) as the attach media of microorganism, combined with suspended system of activated sludge, is expected to be able to remove ammonia better. It can be accomplished in extreme condition that is less than 2 mg/L of DO (Dissolved Oxygen) concentration. Mixing can affect the formation of flocs where nitrification-denitrification occurs. Therefore, variation of DO and Mixing Velocity Gradient (G) is used in this experiment. Nitrogen removal with GAC can remove COD and ammonia better than that without GAC (decrease less than 15%). The highest rate of ammonia removal which was 83.85 % was accomplished in G (40-70) /s and (1.5-2) mg/L of DO. The highest rate of COD removal which was 99.65 % was accomplished in G (10-40) /d and (2-2.5) mg/L of DO.

Keywords: GAC, activated sludge, COD, ammonia, nitrification, denitrification, SND

I. LATAR BELAKANG

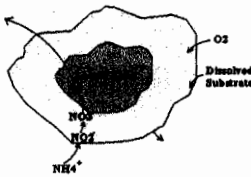
Limbah glukosa merupakan limbah organik, jika terjadi akumulasi dalam jangka waktu yang lama materi organik tersebut akan membusuk sehingga menimbulkan gas yang berbau dan berbahaya. Pengolahan air limbah dengan konsentrasi zat organik tinggi pada umumnya menggunakan pengolahan secara biologi baik secara aerobik maupun anaerobik (Djajadiningrat, 1992).

Salah satu jenis pengolahan air limbah secara biologi yang banyak diterapkan adalah dengan lumpur aktif (*Activated Sludge*). Pengolahan air limbah dengan lumpur aktif bertujuan untuk mengkoagulasi zat organik yang tersuspensi, terkoloid, dan terlarut dalam air limbah. Pada sistem lumpur aktif terdapat dua unit pengolahan yaitu tangki aerasi dan tangki pengendap. Tangki aerasi dilengkapi dengan aerator yang berfungsi sebagai suplai udara bagi mikroorganisme sekaligus pengadukan yang bertujuan untuk mempercepat kontak mikroorganisme dan air limbah yang akan diolah. Selain itu pengadukan juga berfungsi untuk menjaga lumpur agar tidak

mengendap di dasar tangki aerasi. Tangki pengendap berfungsi untuk mengendapkan flok biologi yang terbentuk dari proses degradasi oleh mikroorganisme (Tchobanoglous dan Burton, 1991).

Komponen utama penyusun materi organik antara lain karbon dan nitrogen. Dalam nitrifikasi-denitrifikasi, penyisihan nitrogen dilakukan dalam dua tahap. Pada tahap pertama yaitu nitrifikasi, nitrogen ammonia dioksidasi secara biologis menjadi nitrit dan kemudian menjadi nitrat, pada tahap ini nitrogen hanya berubah bentuk menjadi nitrat dan belum disisihkan. Agar tercapai tujuan untuk memperoleh gas nitrogen, maka perlu dilanjutkan dengan denitrifikasi. Denitrifikasi terjadi ketika konsentrasi O_2 dalam air limbah menjadi cukup rendah (Tchobanoglous dan Burton, 1991). Namun proses nitrifikasi denitrifikasi ini dapat dilakukan secara simultan atau dikenal dengan *Simultaneous Nitrification Denitrification* (SND).

Dalam SND ini proses nitrifikasi terjadi di bagian luar flok yang kondisinya aerobik dan denitrifikasi di bagian dalam flok yang anoxic (gambar 1)



Gambar 1. Nitrifikasi-denitrifikasi dalam flok biologi

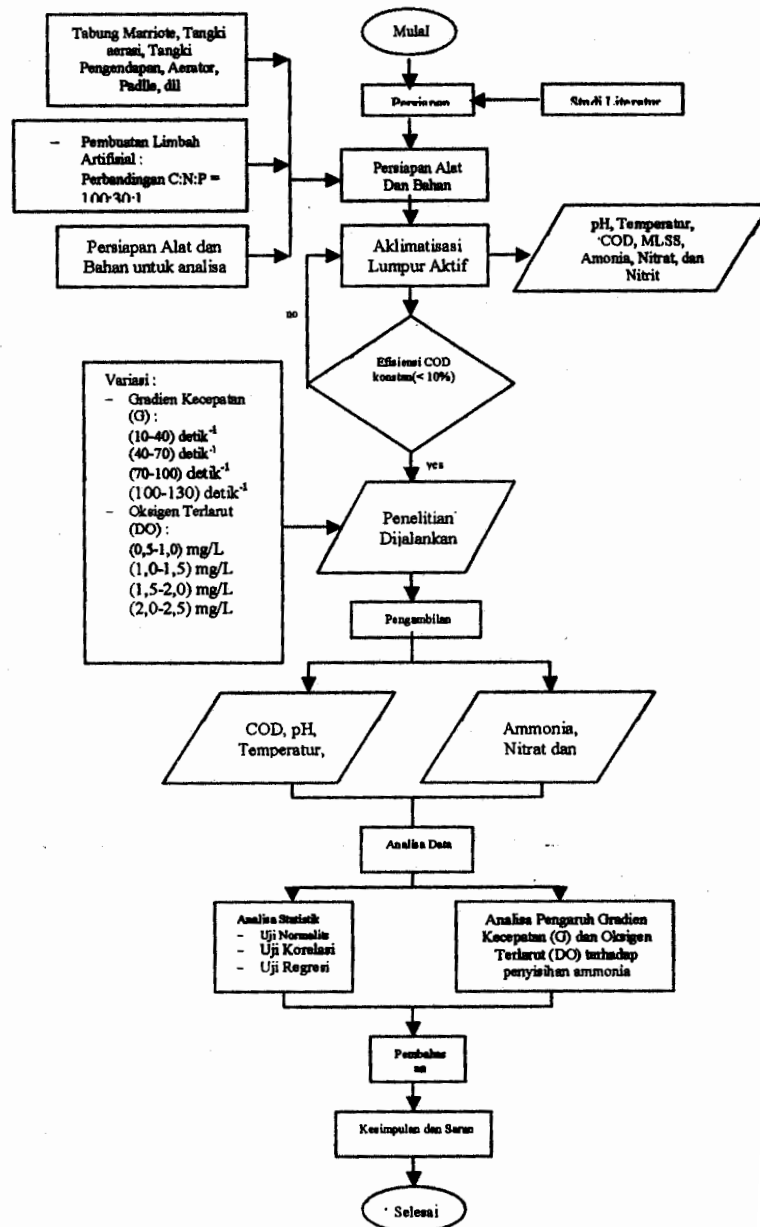
Dalam penelitian ini, proses nitrifikasi dan denitrifikasi dilakukan dalam satu tahap proses aerobik (SND). Kemudian dengan penambahan karbon aktif sebagai media terlekat pertumbuhan mikroorganisme diharapkan laju penyisihan nitrogen dalam proses SND ini meningkat.

Tujuan penelitian ini adalah melihat pengaruh G dan DO pada proses SND dengan dan tanpa penambahan karbon aktif.

II. METODOLOGI PENELITIAN

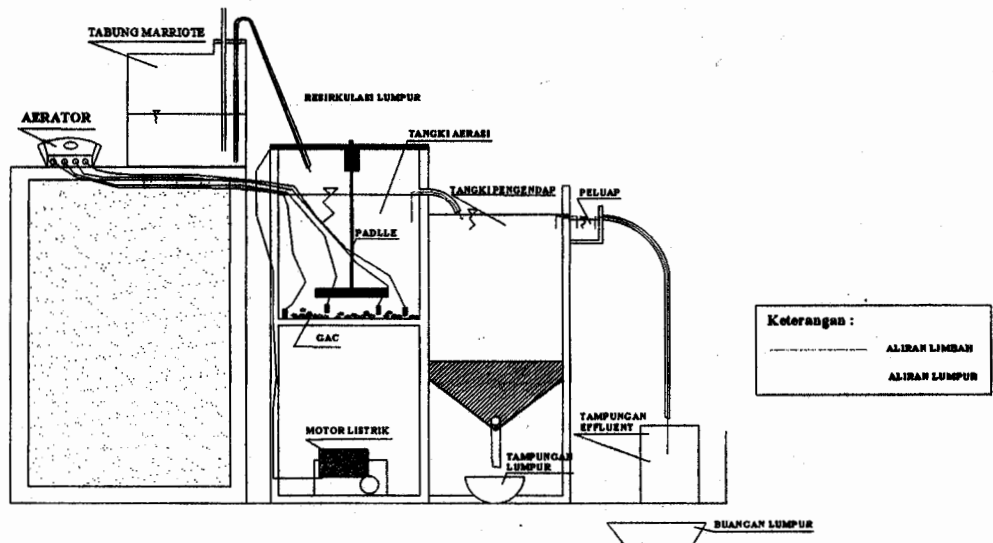
2.1. Tahap Persiapan

Penelitian dilakukan pada skala laboratorium dimulai dengan tahap persiapan yang berupa desain dan pembuatan reaktor, persiapan alat dan bahan, persiapan peralatan dan reagen untuk analisa ammonia, COD, nitrit, nitrat, MLSS, pH dan temperatur. Tahap selanjutnya adalah aklimatisasi lumpur (biomassa) yang dilakukan dengan menjalankan reaktor dengan penambahan air limbah yang telah dibuat dengan debit 0.12 ml/dt. Aklimatisasi dikatakan berhasil jika efisiensi penurunan COD relatif konstan dengan perbedaan kurang dari 10%. Setelah lumpur siap digunakan reaktor dijalankan dengan variasi DO (*Dissolved Oxygen*) dan Gradien Kecepatan. Kemudian data MLSS diambil dari analisis sampel pada tangki aerasi, data lainnya yang berupa COD, amonia, nitrit dan nitrat diambil dari effluen tangki pengendap. Data yang telah diperoleh dianalisis untuk mendapatkan kesimpulan ada tidaknya hubungan DO (*Dissolved Oxygen*) dan Gradien Kecepatan terhadap penyisihan COD dan amonia. Serta pengaruh efisiensi penyisihan amoniak dengan penambahan karbon aktif. Tahapan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Tahapan Penelitian

2.2. Pelaksanaan



Gambar 3. Rangkaian Alat Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan empat variasi G dan empat variasi DO. Dengan demikian variasi penelitian ini dilakukan sebanyak 16 kali tanpa penambahan GAC dan 16 kali dengan penambahan GAC. Variasi G dilakukan dengan mengubah putaran paddle yang dimasukkan dalam tangki aerator sedangkan variasi DO dilakukan dengan mengubah debit udara (jumlah selang) yang dimasukkan dalam tangki aerasi. Air limbah glukosa (*influent*) yang ada dalam tabung mariote dialirkan melalui pipa dengan debit rata-rata 0.12 mL/detik menuju ke tangki aerasi. Di dalam tangki aerasi, limbah bercampur dengan lumpur aktif yang dilengkapi dengan aerator sebagai suplai udara, paddle sebagai pengaduk dan penambahan karbon aktif granular (GAC) sebanyak 1.8 g (12.5 % MLSS). Di sini akan terjadi proses degradasi materi organik dalam limbah oleh mikroorganisme. Selanjutnya limbah dan lumpur yang tercampur akan mengalir ke dalam tangki pengendap untuk pemisahan cairan dan padatan. Cairan yang telah terpisah dari padatannya dinyatakan sebagai *effluent* sedangkan padatan yang terbentuk akan dikembalikan ke dalam tangki aerasi sebagai lumpur resirkulasi dan sebagian lainnya dibuang. Rangkaian alat penelitian dapat dilihat pada gambar 3. Dari influent sampai effluent dan lumpur, semuanya dialirkan dengan gravitasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

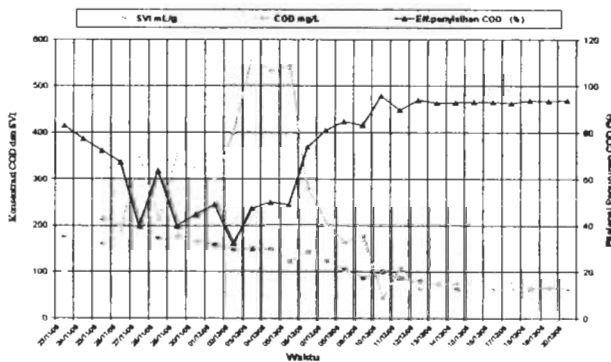
3.1. Aklimatisasi Lumpur

Pengukuran pH menunjukkan nilai (6,9-7,3), temperatur adalah (26-28) °C. Variabel yang dikontrol pada tahap ini adalah SRT yaitu (6-8) hari, DO (1.5-3.0) mg/L dan MLSS (2500-3000) mg/L dengan dasar aplikasi proses lumpur aktif secara konvensional di lapangan dan menurut kriteria desain (Tchobanoglous dan Burton, 2003).

Limbah buatan berasal dari larutan glukosa yang memiliki komposisi glukosa : urea : TSP = 100:30:1 karena untuk membiasakan adanya bakteri *nitrifier* yang berfungsi untuk mengoksidasi ammonia melalui proses nitrifikasi. Komposisi 100:30:1 adalah komposisi terbaik untuk mendapatkan efisiensi penurunan ammonia tertinggi (Supriyatin, 2006).

Konsentrasi COD yang diberikan pada air limbah adalah 585,91 mg/L kemudian dinaikkan menjadi 1065,25 mg/L. Aklimatisasi membutuhkan waktu selama 28 hari, dimana pada 2 minggu pertama efisiensi penyisihan COD masih berfluktuasi, kemudian mulai konstan pada tanggal 13-20 Desember 2006.

Penyisihan COD konstan terjadi pada hari ke 13-20, Efisiensi penyisihan COD ini berkisar (91.97-95.89)%. Keberhasilan aklimatisasi ditandai dengan efisiensi penyisihan COD yang relatif konstan dengan deviasi kurang dari 10% yaitu 0,53 %. Dengan demikian maka lumpur telah teraklimatisasi dan siap untuk digunakan dalam penelitian.



Gambar 4. Hasil Aklimatisasi

3.2. Hasil Penelitian

Hasil penelitian pengaruh Gradien Kecepatan (G) dan Dissolved Oxygen (DO) terhadap efisiensi penurunan ammonia pada system lumpur aktif dengan penambahan GAC yang dilakukan dengan 4 variasi G dan 4 variasi DO di tabel 1 dan perbandingan dengan tanpa penambahan GAC di tabel 2.

Tabel 1. Hasil Penelitian dengan GAC

DO (mg/L)	Keterangan	Gradien Kecepatan (/d)			
		(10-40)	(40-70)	(70-100)	(100-130)
(0.5-1)	COD out (mg/L)	147.06	156.93	163.50	303.37
	Ef COD (%)	86.19	85.27	84.65	71.52
	Amonia (mg/L)	69.50	72.50	80.50	89.00
	Ef Amonia (%)	76.37	75.35	72.63	69.75
(1-1.5)	COD out (mg/L)	143.86	152.42	155.30	250.95
	Ef COD (%)	86.50	85.69	85.42	76.44
	Amonia (mg/L)	64.50	66.00	76.50	77.50
	Ef Amonia (%)	78.07	77.56	73.99	73.65
(1.5-2)	COD out (mg/L)	11.03	7.41	14.87	26.12
	Ef COD (%)	98.96	99.30	98.60	97.55
	Amonia (mg/L)	56.00	59.00	47.50	63.00
	Ef Amonia (%)	80.96	79.94	83.85	78.58
(2-2.5)	COD out (mg/L)	3.72	11.19	14.81	21.66
	Ef COD (%)	99.65	98.95	98.61	97.97
	Amonia (mg/L)	56.50	59.50	52.50	59.00
	Ef Amonia (%)	80.79	79.77	82.15	79.94

3.3. Perbandingan Penyisihan COD Dan Amonia Tanpa dan Dengan Penambahan Karbon Aktif.

Penambahan karbon aktif berfungsi sebagai media terlekat pertumbuhan mikroorganisme. Dengan ditambahkannya karbon aktif diharapkan kombinasi antara sistem terlekat (karbon aktif) dan sistem tersuspensi (lumpur aktif) dapat meningkatkan kinerja mikroorganisme dalam menyisihkan amonia dan COD. Karbon aktif yang ditambahkan adalah karbon aktif granular (GAC) yang memiliki diameter >0.1 mm (Tchobanoglous dan Burton, 2003). Sedangkan dosis optimum untuk penambahan GAC adalah sebesar 12.5 % MLSS (Sudarjanto, 1998). Jika MLSS dalam lumpur aktif rata-rata 2868 mg/L, maka dosis GAC yang digunakan adalah sebesar 358.5 mg/L atau sekitar 1.8 g untuk 5 L lumpur dalam reaktor.

Perbandingan nilai efisiensi penyisihan COD dan ammonia tanpa GAC dan dengan GAC dengan influen yang sama dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Efisiensi penyisihan COD dan amonia tanpa dan dengan penambahan GAC

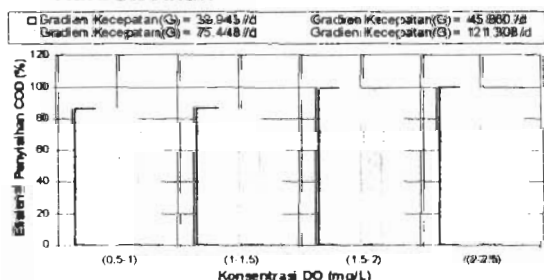
No.	DO	Penyisihan COD		Penyisihan NH3	
	(mg/L)	(%)		(%)	
		Tanpa GAC	Dengan GAC	Tanpa GAC	Dengan GAC
Gradien Kecepatan (10-40) /d					
1	(0.5-1)	72.05	86.19	75.75	76.37
2	(1-1.5)	84.99	86.50	76.40	78.07
3	(1.5-2)	98.25	98.96	78.47	80.96
4	(2-2.5)	84.45	99.65	78.27	80.79
Gradien Kecepatan (40-70) /d					
5	(0.5-1)	85.78	85.27	75.24	75.35
6	(1-1.5)	84.81	85.69	75.82	77.56
7	(1.5-2)	98.94	99.30	77.18	79.94
8	(2-2.5)	97.16	98.95	76.97	79.77
Gradien Kecepatan (70-100) /d					
9	(0.5-1)	84.58	84.65	72.52	72.63
10	(1-1.5)	85.14	85.42	73.37	73.99
11	(1.5-2)	98.54	98.60	80.51	83.85
12	(2-2.5)	97.89	98.61	80.27	82.15
Gradien Kecepatan (100-130) /d					
13	(0.5-1)	71.69	71.52	69.12	69.75
14	(1-1.5)	75.48	76.44	72.25	73.65
15	(1.5-2)	95.17	97.55	77.59	78.58
16	(2-2.5)	97.60	97.97	78.54	79.94

Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa adanya penambahan GAC dalam reaktor mempengaruhi efisiensi penyisihan COD dan amonia jika dibandingkan tanpa penambahan GAC. Hal ini disebabkan karena sifat dari GAC sebagai media terlekat mikroorganisme dan dikombinasikan dengan media tersuspensi lumpur aktif sehingga mikroorganisme memiliki kemampuan menyisihkan COD dan ammonia yang lebih baik. Hal ini menyebabkan efisiensi penyisihan COD lebih tinggi daripada yang tidak menggunakan GAC. Sedangkan untuk penyisihan amonia, pemakaian GAC menyebabkan efisiensi penyisihannya meningkat, karena GAC sebagai media terlekat mikroorganisme mampu sebagai tempat terjadinya SND.

Proses nitrifikasi terjadi dalam kondisi aerobik ketika mikroorganisme mampu memperoleh suplai udara yang cukup untuk mendegradasi. Nitrifikasi ammonia terdiri dari dua tahap. Tahap pertama, ammonia dikonversi menjadi nitrit, tahap kedua konversi nitrit menjadi nitrat. Sedangkan untuk denitrifikasi terjadi dalam kondisi anerobik. Dalam denitrifikasi terjadi proses reduksi nitrat menjadi gas nitrogen (N_2). Dalam penelitian ini denitrifikasi terjadi pada bagian dalam flok/ GAC, sedangkan nitrifikasi terjadi pada permukaan flok. Itulah sebabnya lapisan yang langsung di atas flok/ GAC ini tertutup sehingga tidak mendapatkan suplai oksigen cukup. Kondisi ini bisa terjadi pada konsentrasi DO rendah yaitu kurang 2 mg/L (Eckenfelder dan Musterman, 1995). Adanya proses SND ini yang menyebabkan efisiensi penyisihan amonia menjadi tinggi.

Berdasarkan analisa statistik, pengaruh GAC ini signifikan, dengan probabilitas < 0,05 (Ho ditolak) dengan tingkat perbedaan 1.58 % untuk penyisihan amonia dan 2.02 % untuk penyisihan COD.

3.4. Pengaruh G dan DO Terhadap Penyisihan COD Dengan Penambahan Karbon Aktif.



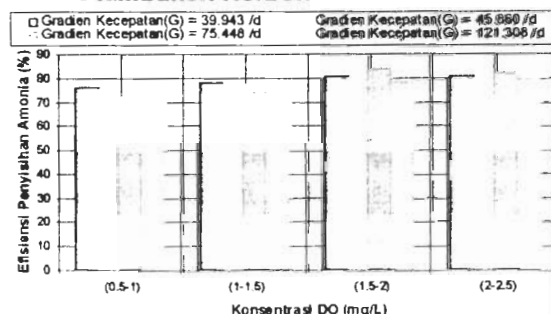
Gambar 5. Pengaruh DO Terhadap Efisiensi Penyisihan COD Pada Berbagai Variasi G

Hasil penelitian dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi DO maka efisiensi penyisihan COD juga tinggi. Semakin besar oksigen terlarut maka mikroorganisme memiliki suplai udara yang cukup sehingga proses degradasi zat organik dalam air limbah akan berjalan sempurna. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa efisiensi COD tertinggi berada pada saat DO (2-2.5)mg/L yaitu 99.65 %. Kondisi ini sesuai dengan pernyataan Tchobanoglous dan Burton (1991) yaitu efisiensi penyisihan COD paling baik terjadi pada konsentrasi DO > 2 mg/l dan efisiensi penyisihan COD dapat dikatakan sangat baik karena > 90 %.

Untuk pengaruh G, pada grafik dapat dilihat bahwa efisiensi terbesar berada pada G rendah, dan efisiensi terendah pada G tinggi. Nilai G berpengaruh pada turbulensi aliran dan pembentukan flok. Semakin rendah G, maka flok yang terbentuk menjadi lebih besar, dengan kata lain bioflokulasi sempurna, sehingga efisiensinya menjadi tinggi. Namun pada saat G tinggi (>100/d) akan terjadi deflokulasi flok sehingga penyisihan COD nya rendah.

Dari analisa statistik, pengaruh G dan DO terhadap penyisihan COD memiliki probabilitas < 0.05 yang berarti bahwa G dan DO berpengaruh terhadap efisiensi penyisihan COD.

3.5. Pengaruh G dan DO Terhadap Penyisihan Amonia Dengan Penambahan Karbon Aktif.



Gambar 6. Pengaruh DO Terhadap Efisiensi Penyisihan Amonia Pada Berbagai Variasi G

Hasil penelitian dapat dilihat bahwa penyisihan amonia paling tinggi berada pada DO (1.5-2) untuk tiap G. Ini berarti terjadi SND yang paling baik pada DO (1.5-2)mg/L, hal ini sesuai dengan analisa McCuen dan Richard (2002) bahwa pada saat DO mendekati atau < 2 mg/L akan terjadi SND yang paling optimal. Namun pada saat DO > 2 mg/L, efisiensinya akan menurun kembali. Konsentrasi DO

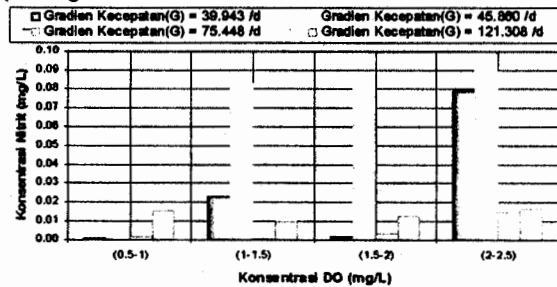
sebagai parameter terbentuknya zonasi aerobik dan anaerobik dalam flok. Semakin besar DO maka zona aerobik semakin besar daripada zona anaerobik. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa efisiensi amonia tertinggi berada pada saat DO (1.5-2)mg/L yaitu 83.85 %.

Untuk pengaruh G, pada grafik dapat dilihat bahwa efisiensi terbesar berada pada G rendah, dan efisiensi terendah pada G tinggi. Nilai G berpengaruh pada turbulensi aliran dan pembentukan flok tempat terjadinya SND. Semakin rendah G, maka flok yang terbentuk menjadi lebih besar dan tersedia zona anaerobik yang besar juga untuk proses denitrifikasi sehingga efisiensi penyisihan amonia tinggi. Pada G tinggi (>100/d) akan terjadi deflokulasi sehingga mempengaruhi penyisihan ammonia di dalamnya.

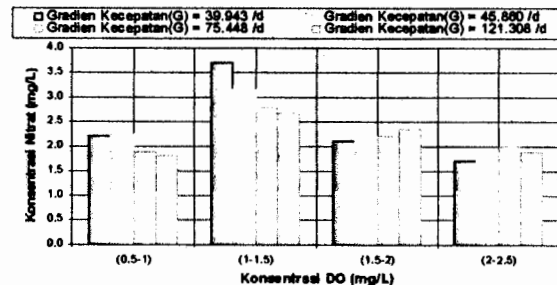
Dari analisa statistik, pengaruh G dan DO terhadap penyisihan Amonia memiliki probabilitas < 0.05 yang berarti bahwa G dan DO berpengaruh terhadap efisiensi penyisihan Amonia.

3.6. Penyisihan Nitrogen Dengan SND

Penyisihan Ammonia melalui proses nitrifikasi menghasilkan nitrat dan nitrit untuk setiap variasi G dan DO, yang dapat dilihat pada gambar berikut :



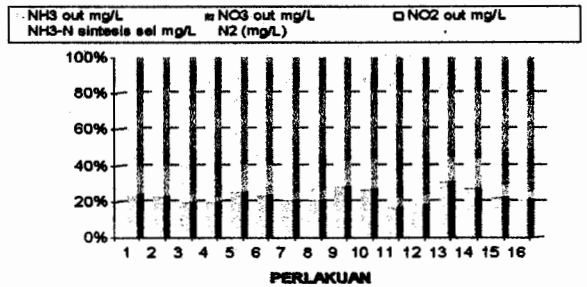
Gambar 7. Pengaruh DO Terhadap Konsentrasi Nitrit Pada Berbagai Variasi G



Gambar 8. Pengaruh DO Terhadap Konsentrasi Nitrat Pada Berbagai Variasi G

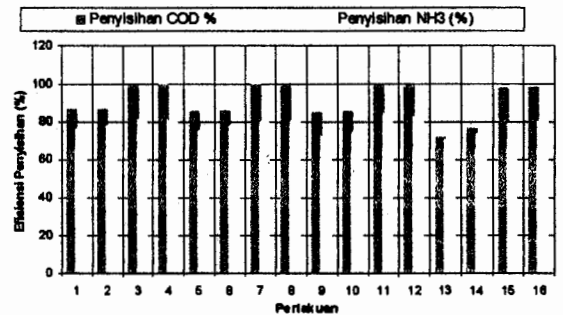
Nilai nitrat yang diperoleh lebih besar daripada nilai nitrit karena laju pertumbuhan

nitrobacter lebih besar daripada *nitrosomonas*. Dari influen NH_3 , setelah terjadi SND akan terbentuk effluen berupa nitrit-nitrat sebagai hasil dari nitrifikasi. N_2 yang dapat dihitung sebagai produk dari denitrifikasi dan $\text{NH}_3\text{-N}$ yang digunakan mikroorganisme untuk melakukan biosintesis sel. Jumlah gas N_2 yang terbentuk dapat diperkirakan dari neraca massa N. Dan dari gambar 9 gas N_2 yang terbentuk bisa mencapai 75 %.



Gambar 9. Neraca Massa Nitrogen

3.7. Hubungan Antara Efisiensi Penyisihan COD dan Efisiensi Penyisihan Ammonia



Gambar 10. Hubungan antara Efisiensi Penyisihan Amonia dan COD

Hasil penelitian pengaruh efisiensi penyisihan COD terhadap penyisihan amonia dapat dilihat secara umum bahwa keduanya memiliki hubungan. Efisiensi penyisihan ammonia paling tinggi pada saat nilai G sebesar 75.448 d^{-1} dan DO sebesar (1.5-2) mg/l yaitu 98.76%. Hal ini sesuai dengan pernyataan Demoulin dan Rudinger (1999) yang menganalisa bahwa proses nitrifikasi-denitrifikasi terjadi paling baik pada konsentrasi DO mendekati 2 mg/L. Sedangkan untuk efisiensi penyisihan COD paling besar terjadi saat nilai G sebesar 39.943 d^{-1} dan DO sebesar (2-2.5) yaitu sebesar 99.65 %.

KESIMPULAN

Data hasil penelitian telah dianalisa baik secara statistik dan dianalisa berdasarkan teori. Dari hasil analisa tersebut dapat disimpulkan:

1. Karbon aktif granular (GAC) yang ditambahkan berpengaruh signifikan terhadap penyisihan COD dengan tingkat perbedaan 1.58 % sedangkan untuk penyisihan ammonia 2.02 %.
2. Variasi gradien kecepatan (G) berbanding terbalik dengan efisiensi penyisihan ammonia dan COD sedangkan DO (*Dissolved Oxygen*) berbanding lurus terhadap penyisihan ammonia dan COD.
3. Penyisihan COD paling baik yaitu 99.65 % terjadi pada saat G (10-40)/d dan DO (2-2.5) mg/L. Penyisihan ammonia terbaik yaitu 83.85 % terjadi saat G (70-100)/d dan DO (1.5-2) mg/L.

SARAN

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah :

1. Penambahan GAC untuk menyisihkan ammonia dan COD perlu dilakukan karena dapat meningkatkan efisiensi penyisihan COD dan ammonia dibanding tanpa penambahan GAC.
2. Pengadukan (*mixing*) dengan gradien kecepatan ≥ 100 /d tidak efisien dilakukan apabila hendak menyisihkan ammonia karena dapat merusak flok yang terbentuk sehingga degradasi COD dan SND tidak berjalan sempurna.
3. Untuk $DO > 2$ mg/L penyisihan ammonia kecil sehingga untuk dapat terjadi nitrifikasi-denitrifikasi paling baik dikondisikan $DO < 2$ mg/L.

DAFTAR PUSTAKA

- Benefield, Larry D., Clifford, W. Randall, 1980, *Biological Process Design for Wastewater Treatment*, Prentice - Hall, Inc., USA.
- Demoulin, Rudinger, 1999, *Cyclic activated Sludge Technology Plant In Germany*, USA: Lake Forest
- Djajadiningrat, A.H., 1992, *Pengendalian Pencemaran Limbah industri*, Teknik Lingkungan, ITB, Bandung.
- Droste, Ronald L, 1997, *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*, John Wiley and Sons, Inc., USA
- Eckenfelder, W. Wesley, 2000, *Industrial Water Pollution Control*, Third Edition, Mc Graw - Hill Book Co., Singapore
- Grady, C.P.L., Daigger, G, and Lim, H, (1999), *Biological wastewater Treatment*. Marcel Dekker, Inc, New York, NY.
- Henze, Mogens, Poul Harremoës, Jes la Cour Jansen, dan Erik Arvin, 1995, *Wastewater Treatment Biological and Chemical Processes*, Springer-Verlag, Jerman
- Martins, Antonio M.P., 2004, *Bulking Sludge Control: Kinetics, Substrate Storage, and Process Design Aspects*, Geboren te Vila Nova de Poaires, Comimbra, Portugal.
<http://www.sciencedirect.com/science/journal>
- Noda, Kaneko, 2003, *Effect of SRT and DO on N_2O reductase activity in a anoxic-oxic activated sludge system*, Japan :Tokyo
- Musterman, Jack L., Wesley Eckenfelder, 1995, *Activated Sludge Treatment of Industrial wastewater*, Technomic Publishing Company, Inc., USA.
- Qasim, Syed R., 1999, *Wastewater Treatment Plants Planning, Design, and Operation*, CBS College Publishing, New York.
- Richard, Michael, Brown Share, dan Collin Fort CO., 2003, *Activated Sludge Microbiology Problem and Their Control*, USEPA, New York.
www.searbrown.com
- Sudarjanto, 1998, *Active Carbon in Activated Sludge*, Bandung :ITB press
- Sundstrom, Donald W. dan Herbert E. Klei, 1979, *Wastewater Treatment*, Prentice - Hall, Inc., USA.
- Tchobanoglous, George, L. Burton, Franklin, Stense, H. David, 1991, *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*, Fourth Edition, McGraw - Hill Book Co., Amerika
- Tchobanoglous, George, L. Burton, Franklin, Stense, H. David, 2003, *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*, Fourth Edition, McGraw - Hill Book Co., Amerika
- Water Environment Association, 1987, *Microorganism and Their Role in The Activated Sludge Process*
<http://www.college.ucla.edu/webprojec>

STUDI PEMILIHAN CALON LOKASI TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR SAMPAH KABUPATEN PEMALANG

Nurandani Hardyanti^{*)}, Syafrudin^{*)}

ABSTRACT

The treatment of garbage into landfilling was the stage that always done although sometimes it did not solve the disposal problem at some area. Final disposal would be difficult part of waste management. The operation of landfilling at Desa Pegongsoran of Kabupaten Pemalang has been operated for 15 years and would ended on 2008, so it needed to find a new landfilling area. This study was to find best proper landfilling area that appropriate with regional spatial planning and fulfilled the regional strain criteria, elimination strain criteria and social criteria. The landfilling election process consisted of 3 phase of strain were regional strain phase, elimination strain phase and determination phase. These evaluation used 2 methode that were Le Grand methode and SK SNI T 11-1991-03. The result of these study was finding appropriate landfilling area at Desa Surajaya of Kecamatan Pemalang which had Le Grand grade was very good area and also almost definite acceptable and SK SNI grade was 532.

Key words: garbage, area, landfilling, Le Grand, SK SNI, Kabupaten Pemalang

PENDAHULUAN

Pada saat ini masalah sampah perkotaan di Indonesia mendapat perhatian dari berbagai pihak dan perlu upaya penanganan yang semakin nyata. Salah satu kebutuhan mendasar dalam pengelolaan persampahan adalah adanya Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah. TPA sampah adalah tempat untuk menyingkirkan atau mengkarantina sampah kota sehingga aman (Tchobanoglous, et al, 1993).

Kabupaten Pemalang memiliki TPA sampah yaitu di Dukuh Pesalakan Desa Pegongsoran yang melayani Kota Pemalang dan Taman. TPA sampah Desa Pegongsoran memiliki luas ± 7 Ha. TPA tersebut dibangun pada tahun 1991 sampai dengan 1992 dan mulai beroperasi pada tahun 1993. Rencana operasi TPA adalah 15 tahun atau berakhir pada tahun 2008 (Departemen Pekerjaan Umum Kabupaten Pemalang, 2006).

Dengan akan berakhirnya masa operasi TPA sampah Desa Pegongsoran maka diperlukan TPA pengganti. Sebelum masa operasi TPA sampah Desa Pegongsoran berakhir idealnya sudah ada lahan baru pengganti TPA. Untuk menentukan lahan baru TPA tidaklah mudah, selain adanya peraturan standar yang harus dipenuhi juga adanya persepsi masyarakat yang berbeda-beda tentang TPA sampah. Untuk itu, Pemerintah

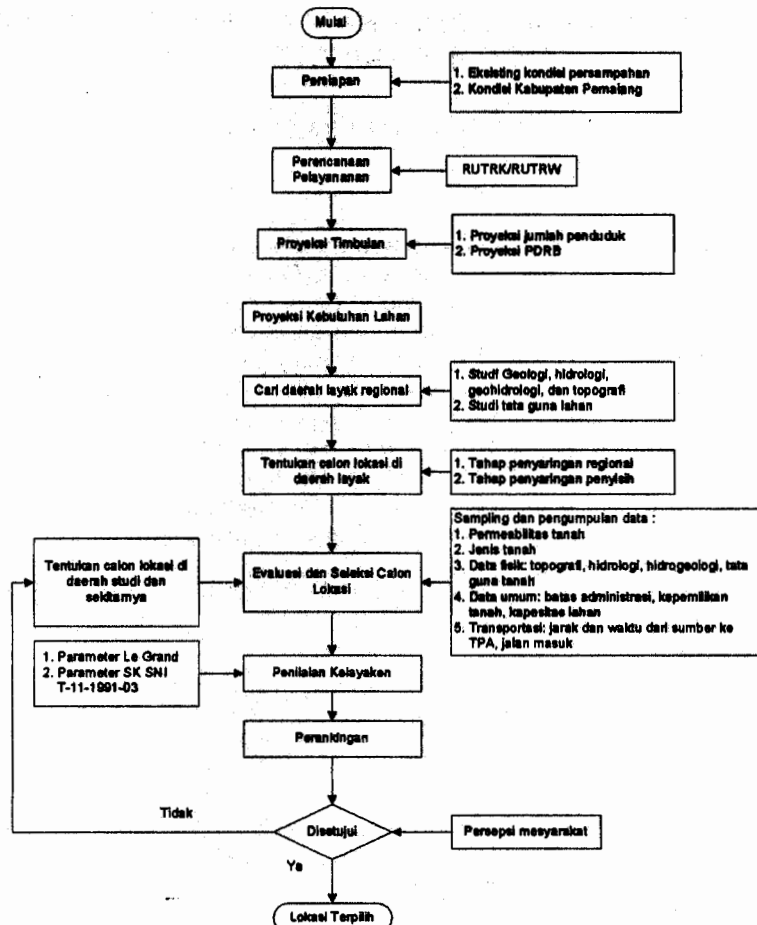
Kabupaten Pemalang sejak awal sudah merencanakan alternatif pengganti TPA sampah Desa Pegongsoran. Sebagai langkah awal, Pemerintah Kabupaten Pemalang melakukan pemilihan lokasi (site selection) lahan TPA sampah baru. Dalam penyusunan *site selection* ini harus didasarkan pada ketentuan perundang-undangan yang berlaku dan Standar Nasional Indonesia.

Tujuan dari pemilihan calon lokasi TPA sampah di Kabupaten Pemalang ini adalah untuk mendapatkan lahan yang dapat digunakan sebagai lokasi TPA yang tidak atau sedikit menimbulkan gangguan terhadap lingkungan. Daerah yang layak sebagai lokasi TPA harus sesuai dengan rencana tata ruang wilayah serta memenuhi kriteria penyaringan regional, penyisih dan sosial. Untuk mendapatkan lahan yang sesuai, digunakan penyaringan dengan pembobotan menggunakan parameter Le Grand dan SK SNI T-11-1991-03. Agar kebutuhan lahan sesuai dengan lahan yang tersedia, maka diperlukan perhitungan prediksi timbulan sampah hingga umur layan 15 tahun sehingga diketahui kebutuhan lahan total untuk TPA sampai 15 tahun mendatang.

METODOLOGI PENELITIAN

Adapun tahapan penelitian ini terlihat pada gambar 1.

^{*)} Program Studi Teknik Lingkungan FT Undip
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang Semarang



Gambar 1 Skema Tahapan Pelaksanaan
 Sumber: Hasil Studi, 2007

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Jumlah Proyeksi Timbulan Sampah

Pendekatan regresi linier berganda digunakan untuk menentukan tingkat pertumbuhan timbulan sampah akibat meningkatnya tingkat konsumsi sebagai akibat dari kenaikan tingkat PDRB per kapita serta kenaikan jumlah penduduk (Sugiyono, 2004). Perhitungan proyeksi jumlah penduduk, PDRB dan timbulan dapat dilihat pada tabel 1.

Perhitungan Proyeksi Kapasitas Lahan

Setelah diperoleh proyeksi jumlah timbulan sampah untuk masa layan 15 tahun maka dapat dihitung kebutuhan lahan untuk TPA. Untuk perhitungan kebutuhan lahan urug untuk lokasi TPA dapat digunakan rumus pendekatan sehingga didapat luas lahan efektif yang dibutuhkan (Sintorini&Aziz (2005) dalam Yohana,

Merry, 2006).

Hasil perhitungan kebutuhan lahan TPA tanpa 3R dan komposting sampai tahun 2023 adalah sebesar 18,79 Ha. Sedangkan kebutuhan lahan TPA dengan penerapan 3R dan komposting adalah sebesar 11,85 Ha. (Yohana, Merry, 2006).

Proses Penyaringan Calon Lokasi TPA Tahap Penyaringan Regional

Kriteria regional yang digunakan pada penyaringan awal sebagai berikut (SK SNI T-11-1991-03, 1991).

Tabel 1 Proyeksi Jumlah Penduduk, PDRB dan Timbulan Kabupaten Pemalang Tahun 2007 – 2023

Tahun	Penduduk		PDRB		Timbunan Sampah	
	Jiwa	%	Rupiah	%	L/oh	%
2000	237531	0.0000	1955778	0	1.62	0
2001	237545	0.0059	2135489	8.4154	1.63	0.613
2002	238083	0.2260	2414991	11.5736	1.65	1.212
2003	238328	0.1028	2653652	8.9937	1.66	0.602
2004	238763	0.1822	3579228	25.8597	1.69	1.775
2005	239078	0.1317	4120013	13.1258	1.71	1.169
2006	239387	0.1290	4742505	13.1258	1.75	2.306
2007	239696	0.1290	5459049	13.1258	1.76	0.700
2008	240006	0.1290	6283855	13.1258	1.79	1.736
2009	240316	0.1290	7233281	13.1258	1.83	1.9430
2010	240626	0.1290	8326156	13.1258	1.87	2.171
2011	240937	0.1290	9584153	13.1258	1.92	2.423
2012	241249	0.1290	11032220	13.1258	1.97	2.698
2013	241560	0.1290	12899076	13.1258	2.03	2.998
2014	241873	0.1290	14617776	13.1258	2.10	3.322
2015	242185	0.1290	16828373	13.1258	2.18	3.6697
2016	242498	0.1290	19368865	13.1258	2.27	4.0400
2017	242811	0.1290	22295073	13.1258	2.38	4.4314
2018	243125	0.1290	25683630	13.1258	2.50	4.8417
2019	243439	0.1290	29541142	13.1258	2.64	5.2680
2020	243754	0.1290	34004506	13.1258	2.80	5.7068
2021	244069	0.1290	39142239	13.1258	2.98	6.1544
2022	244384	0.1290	45056230	13.1258	3.19	6.6066
2023	244700	0.1290	51863766	13.1258	3.43	7.0589
Y = 23714e ^{0.0013x}		Y = 2E + 06e ^{0.1441x}		Y = (6.55E-06*X1)+(3.53E-08*X2)		
R = 0.9992		R = 0.9988		R = 0.9195		

Sumber: Hasil perhitungan, 2007

Pengembangan wilayah dan tata ruang

Daerah lokasi TPA sebaiknya dipertimbangkan sesuai rencana tata ruang dan pengembangan wilayah. Lokasi TPA diharapkan tidak berada pada daerah pengembangan untuk kawasan industri, pertanian, pemukiman, pariwisata dan kawasan lindung (SK SNI T-11-1991-03, 1991).

Rencana struktur dan pola pemanfaatan ruang Kabupaten Pemalang adalah meliputi rencana hirarki pusat pelayanan dan rencana sistem perwilayahan pembangunan

Berdasarkan hasil *overlay* dapat disimpulkan bahwa daerah layak menurut RTRW adalah sebagian besar wilayah Kabupaten Pemalang bagian tengah, barat dan selatan yaitu Kecamatan Bantarbolang, Bodeh, Watukumpul dan Pulosari. Wilayah Kabupaten Pemalang bagian utara dan timur meliputi Kecamatan Pemalang, Taman, Randudongkal dan Moga adalah daerah yang tidak memenuhi kriteria layak sebagai lokasi TPA. Sedangkan sisanya yaitu Kecamatan Petarukan, Comal, Ulujami, Ampelgading dan Warungpring merupakan daerah yang kurang layak sebagai lokasi TPA yang artinya daerah

tersebut dapat dipergunakan sebagai lokasi TPA layak namun dengan persyaratan pengendalian lingkungan.

Kondisi geologi

Lokasi TPA yang dipilih tidak berada pada daerah bahaya geologi atau daerah patahan, *holocene fault* atau daerah sesar, daerah-daerah yang berpotensi gempa, zona vulkanik yang aktif serta daerah longsor, kecuali jika zona tersebut mempunyai daerah penyangga yang cukup (SK SNI T-11-1991-03, 1991).

Aspek-aspek geologi yang mempengaruhi pemilihan zona layak TPA adalah jenis tanah, jenis batuan, garis sesar/patahan, daerah rawan bencana alam dan gerakan tanah/longsor (Damanhuri, 1995).

Kondisi Hidrologi

Lokasi TPA sampah tidak diijinkan berada pada suatu lokasi dengan jarak antara dasar sampai lapisan air tanah tertinggi kurang dari 3 meter, kecuali jika ada pengontrolan hidrolis dari air tanah tersebut (Damanhuri, 1995).

Untuk menghindari kemungkinan pencemaran air tanah tersebut, sebaiknya angka kelulusan air maksimal 10⁻⁶ cm/detik (SK SNI T-11-1991-03, 1991). Beberapa aspek hidrologi adalah muka air tanah, daerah aliran sungai dan garis pantai.

Kondisi topografi

Secara topografi lokasi TPA hendaknya mempunyai kemiringan < 20 %, tidak di daerah bukit dengan lereng tidak stabil, dan tidak terletak di bagian atas/hulu dari sumber air yang dimanfaatkan untuk penyediaan air bersih agar lindi dari timbulan sampah tidak mencemari sumber air tersebut (Damanhuri, 1995).

Kemiringan lereng berkaitan erat dengan kemudahan pekerjaan konstruksi dan operasional TPA sampah. Semakin terjal suatu daerah, semakin sulit pekerjaan konstruksi dan pengoperasiannya (Darmasetiawan, 2004). Daerah dengan kemiringan lereng lebih dari 20 persen dianggap tidak layak untuk menjadi TPA (SK SNI T-11-1991-03, 1991).

Tata Guna Lahan

Kondisi tata guna lahan Kabupaten Pemalang meliputi penyebaran kawasan-kawasan persawahan, permukiman, hutan dan sebagainya. Penyebaran kawasan-

kawasan sesuai tata guna lahan di Kabupaten Pemalang belum teratur. Penyebarannya masih mengikuti struktur alam yang ada, belum ada pembagian wilayah khusus dari Pemerintah Daerah Kabupaten Pemalang. Sehingga, dalam menentukan lokasi TPA pun belum terdapat rencana yang telah disesuaikan dengan pembagian tata guna lahan ini.

Daerah layak yang lolos dalam penyaringan regional antara lain Desa Surajaya terdapat di Kecamatan Pemalang, Desa Kajen, Kreyo, Kalitorong dan Randudongkal terdapat di Kecamatan Randudongkal dan Warungpring, Desa Leggerong, Peguyangan, Kebongede dan Bantarbolang terdapat di Kecamatan Bantarbolang, Penggarit terdapat di Kecamatan Taman serta Kaliprau terdapat di Kecamatan Ulujami.

Tahap Penyaringan Penyisih

Kriteria penyisihan merupakan batasan penilaian yang digunakan untuk memilih lokasi terbaik dari beberapa lokasi yang lolos penyaringan awal/regional untuk penentuan calon lokasi TPA. Ada beberapa peninjauan pada kriteria ini berdasarkan kondisi-kondisi terkait dibawah (Damanhuri, 1995): kondisi klimatologis, meliputi curah hujan dan temperatur, penyebaran permukiman penduduk dan bangunan lainnya, kawasan lindung dan jalan raya.

Berdasarkan peta kelayakan dari kedua parameter penyisihan tersebut didapatkan calon lokasi TPA Kabupaten Pemalang yaitu Desa Surajaya, Peguyangan, Lenggerong, Kuta, Glandang, Bantarbolang, Sarwodadi dan Sokawati. Namun karena pertimbangan jarak lokasi yang terlalu jauh dari pusat timbulan sampah dan transportasi yang tidak memungkinkan, maka hanya diambil tiga calon lokasi yang mendekati ideal yaitu Desa Surajaya, Peguyangan dan Bantarbolang. Selanjutnya, calon lokasi terpilih tersebut akan dianalisis lebih lanjut dalam tahap penetapan dengan menggunakan metode Le Grand dan SK SNI.

Penilaian Kelayakan Dengan Metode Le Grand

Penilaian kelayakan berdasarkan metode Le Grand ini menggunakan 4 parameter utama (tabel 2), yaitu: jarak antara lokasi TPA dengan sungai atau badan air terdekat, kedalaman muka air

tanah terhadap dasar lahan urug, kemiringan hidrolis air tanah dan alirannya dan permeabilitas tanah dan batuan.

Tabel 2 Penilaian dengan Metode Le Grand

Parameter	Desa Surajaya	Desa Peguyangan	Desa Bantarbolang
Parameter I	1	1	1
Parameter II	5	5	4
Parameter III	1	3	2
Parameter IV	5	5	4
Jumlah	12	14	11
Probabilitas Cemeran	Baik Sekali	Baik Sekali	Baik Sekali
Nilai Penerimaan	-8.5	-8.5	-9.5
Kemungkinan Pencemaran	Hampir tidak mungkin	Belum diketahui dengan pasti	Hampir tidak mungkin
Penerimaan Tapak	Hampir pasti dapat diterima	Mungkin diterima	Hampir pasti dapat diterima

Sumber: Hasil Perhitungan, 2007

Penilaian Kelayakan dengan SK SNI T-11-1991-03

Dari hasil penilaian dari ketiga calon lokasi usulan berdasarkan penilaian SK SNI T-11-1991-03 (tabel 3) diperoleh peringkat nilai sebagai berikut:

1. Prioritas 1: Calon Lokasi TPA Desa Surajaya Kecamatan Pemalang dengan nilai 532 masuk dalam kelas layak.
2. Prioritas 2: Calon Lokasi TPA Desa Peguyangan Kecamatan Bantarbolang dengan nilai 515 masuk dalam kelas layak dengan pengendalian lingkungan.
3. Prioritas 3: Calon Lokasi TPA Desa Bantarbolang Kecamatan Bantarbolang dengan nilai 432 masuk dalam kelas layak dengan pengendalian lingkungan.

Tahap Penetapan Calon Lokasi TPA Terpilih

Hasil analisis SWOT menunjukkan bahwa calon lokasi TPA terpilih adalah calon lokasi di Desa Surajaya, Kecamatan Pemalang, Kabupaten Pemalang. Pada tahap penetapan juga mempertimbangkan analisa persepsi masyarakat dan analisis rona lingkungan calon lokasi TPA terpilih sehingga dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan penilaian kelayakan ditinjau dari segi non teknis.

Analisis Persepsi Masyarakat

Berdasarkan hasil analisis persepsi penduduk terhadap rencana pembangunan TPA Desa Surajaya diketahui bahwa 56,9%

penduduk setuju dengan rencana pembangunan TPA asalkan ada kompensasi dan pengendalian lingkungan, 15,7% penduduk setuju dan 27,4% tidak setuju. Penduduk Desa Surajaya setuju dengan rencana pembangunan TPA karena letak TPA yang relatif jauh dari permukiman dan terdapatnya zona buffer yang cukup.

Analisis Rona Lingkungan

Analisis terhadap rona lingkungan sangatlah perlu, agar diketahui kondisi fisik lingkungan awal sebelum ada TPA dan menganalisis adanya potensi, kendala maupun dampak negatif bagi lingkungan yang dimungkinkan dapat terjadi setelah dibangunnya TPA, sehingga diketahui rencana pengelolaan yang harus dilakukan untuk meminimisasi dampak tersebut sesuai dengan rona lingkungan awal.

Potensi-potensi lingkungan calon lokasi Desa Surajaya antara lain:

1. Dalam batas administrasi, dalam satu jangkauan pelayanan sampah.
2. Topografi sangat datar dengan zona buffer di sekitarnya.
3. Lahan yang tersedia ± 100 Ha, sangat cukup untuk masa layan > 10 tahun.
4. Bebas dari daerah rawan sesar dan gempa.
5. Kedalaman muka air tanah cukup dalam.
6. Merupakan jenis akuifer non sensitif.

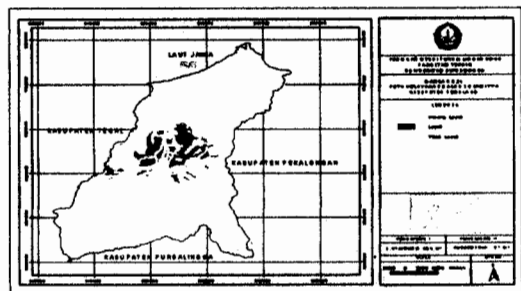
Kendala-kendala yang terdapat pada calon lokasi TPA Desa Surajaya:

1. Transport cemaran menuju air tanah besar karena permeabilitas tinggi (permeabilitas = $1,81515 \cdot 10^{-4}$).
2. Jarak TPA ke sumber sampah / TPS terjauh adalah ± 10 km, dimungkinkan transport ke TPA < 5 kali/hari.
3. Tanah Perhutani diperuntukan untuk hutan produksi.
4. Partisipasi masyarakat dengan pembangunan TPA baru perlu negosiasi.
5. Intensitas cukup tinggi 2000-3000mm/tahun.
6. Kondisi jalan masih berbatuan.
7. Berdampak besar bagi lingkungan sekitar.
8. Jarak dasar TPA ke muka air tanah cukup jauh.
9. Letak lokasi cukup jauh dari jalan raya.
10. Letak lokasi cukup jauh dari permukiman penduduk.

11. Tanah milik Perhutani dimungkinkan mudah dibebaskan.
12. Sudah tersedia zona buffer yang sangat cukup.
13. Arah angin terhalang oleh zona buffer yang sangat lebar sehingga dapat mereduksi bau.
14. Jarak dengan sungai terdekat (Sungai Waluh) adalah 1823 m.
15. Jarak dasar TPA ke muka air tanah cukup jauh (6-8 m).
16. Kemiringan muka air tanah sangat datar, arah aliran berlawanan dengan aliran Sungai Waluh.

Rencana pengelolaan untuk mengatasi kendala yang ada:

1. Perlu penambahan lapisan liner pada dasar TPA dan pemberian pipa pengumpul lindi di dasar TPA.
2. Perlu adanya transfer depo untuk mengumpulkan sampah dari beberapa TPS sebelum dibawa ke TPA.
3. Perlu negosiasi dengan pihak Perhutani mengenai tanah calon lokasi TPA.
4. Perlu pemantauan kualitas lingkungan secara kontinu, analisa air tanah dan udara sekitar TPA.
5. Perlu negosiasi pada masyarakat tentang pengendalian kualitas lingkungan secara kontinu.
6. Perlu saluran drainase yang baik, pipa pengumpul lindi, lapisan liner pada dasar lahan urug.
7. Perlu pengerasan dan pengaspalan jalan.
8. Pengelolaan TPA dengan dengan 3R dan komposting agar menghemat penggunaan lahan.



Gambar 2 Peta Kelayakan Calon Lokasi TPA

Sumber: Hasil Analisis, 2007

Rencana Pengelolaan TPA

Perencanaan pengelolaan limbah pada lahan urug adalah sebagai berikut:

1. Sebelum ditimbun di TPA, sampah dipulung oleh pemulung untuk didaur ulang (plastik, besi, alumunium).
2. Lahan urug dibuat dalam bentuk sel-sel timbunan, direncanakan tinggi sel keseluruhan 3 meter.
3. Sampah ditebarkan dalam sel dengan ketebalan lapisan antara 0,6 – 0,8 m, kemudian dipadatkan dengan alat berat.
4. Pada akhir hari operasi, sel diberi tanah penutup harian setebal 0,2 – 0,3 m, dipadatkan untuk mengisi seluruh rongga sel timbunan.
5. Pengoperasian saluran pengumpul, pengolah lindi, dan drainase yang baik.
6. Untuk pencegahan sampah yang beterbangan, perlu diberi jaring-jaring pada timbunan sampah yang belum diberi tanah penutup harian.

KESIMPULAN

Timbulan sampah yang dihasilkan dari aktivitas penduduk di Kabupaten Pemalang tahun 2023 diprediksikan mencapai 3,43 liter/orang/hari dengan kebutuhan lahan untuk TPA sebesar 18,97 Ha.

Proses pemilihan calon lokasi TPA melalui 3 tahap penyaringan:

1. Tahap penyaringan kriteria regional (pengembangan wilayah dan tata ruang, kondisi geologi, kondisi hidrologi, kondisi topografi dan tata guna lahan).
2. Daerah layak regional yaitu Kecamatan Pemalang (Desa Surajaya), Kecamatan Randudongkal dan Warungpring (Desa Kajen, Kreyo, Kalitorong dan Randudongkal), Kecamatan Bantarbolang (Desa Leggerong, Peguyangan, Kebongede dan Bantarbolang), Kecamatan Taman (Desa Penggarit) dan Kecamatan Ulujami (Desa Kaliprau).
3. Tahap penyaringan kriteria penyisihan (kondisi klimatologi, penyebaran pemukiman penduduk, jalan raya, dan kawasan lindung).
4. Daerah layak penyisihan yaitu Kecamatan Pemalang (Desa Surajaya), Kecamatan Bantarbolang (Desa Peguyangan dan Bantarbolang).

5. Tahap penetapan calon lokasi berdasarkan pembobotan tertinggi, analisis SWOT, analisis persepsi masyarakat dan analisis rona lingkungan sekitar calon lokasi TPA terpilih.

Dari hasil pembobotan dan analisis SWOT, calon lokasi TPA terpilih adalah calon lokasi TPA Desa Surajaya Kecamatan Pemalang. Pada calon lokasi TPA terpilih dilakukan analisis rona lingkungan dan analisis persepsi masyarakat sehingga diketahui potensi, kendala, dampak negatif yang timbul jika lahan tersebut dijadikan TPA kemudian dapat dilakukan rencana pengelolaan yang harus dilakukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Disampaikan terima kasih kepada Anisatin Naim atas terselesaikannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Damanhuri, Enri. 1995. *Teknik Pembuangan Akhir*. Bandung: Teknik Lingkungan ITB.
- Darmasetiawan, Martin. 2004. *Sampah dan Sistem Pengelolaannya*. Jakarta: Ekamitra Engineering.
- Dinas Pekerjaan Umum. 1991. SK SNI T-1991-03 *Tentang Tata Cara Pemilihan Lokasi TPA*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Pemalang. 2006. *Laporan Pendahuluan Penyusunan Rencana Pemilihan Lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Kecamatan Petarukan*. Semarang: CV. Abadi Purwa Citra.
- Tchobanoglous, George, Theisen, Hilary, Vigil. 1993. *Integrated Solid Waste Management*. Singapura: Mc Graw Hill.
- Yohana, Merry. 2006. *Studi Awal Pemilihan Calon Lokasi (Site Selection) TPA Sampah Kota Cilacap*. Semarang: Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

DESAIN SISTEM PENYALURAN DAN PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK DENGAN KOMBINASI TEKNOLOGI UP FLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET DAN DOWN FLOW HANGING SPONGE PERUM PERUMAS BOGOR UTARA KOTA BOGOR

Nasrullah^{*)}

ABSTRACT

The increasing of population at region will make up quantity of domestic waste water progressively. Domestic waste water will influence the environment if without treatment. Perum Perumnas at Northeast of Bogor was one of community which used on site sanitation system. Based on feasibility study of technical, economical and environmental aspects could conclude that appropriate technology for these regions could be used centralized domestic waste water treatment with combination between application of Up Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) and down flow Hanging Sponge (DHS). Stage of design of drainage system and domestic waste water treatment were included identification of design area, drainage system plan design, and treatment processing plan design. Drainage system would be used for these region was small bore sewer system and also applied UASB and DHS.

Key words: waste water domestic, small bore sewer system, Up Flow Anaerobic Sludge Blanket Down Flow Hanging Sponge

LATAR BELAKANG

Seiring dengan berkembangnya kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi serta informasi dewasa ini kontrol masyarakat terhadap lingkungan seperti pencemaran udara, pencemaran air, pembuangan limbah domestik dan bahan berbahaya lainnya semakin mendapat perhatian yang serius. Semakin bertambahnya jumlah penduduk dan tingkat perekonomian, maka bertambah pula pemakaian air bersih di kota tersebut dan air limbah yang dihasilkan juga semakin bertambah. Dampak dari semakin tingginya populasi penduduk tanpa penambahan sarana sanitasi yang memadai pada suatu daerah dapat menyebabkan meningkatnya bahaya pencemaran lingkungan serta penurunan kualitas lingkungan hidup, sehingga diperlukan penanganan sarana sanitasi yang serius.

Kota Bogor merupakan salah satu kota berkembang yang turut serta menyumbang terhadap memburuknya kualitas air sungai Ciliwung yang ada di Jakarta, karena Kota Bogor merupakan daerah hulu dimana aliran sungainya melewati Jakarta menuju ke Teluk Jakarta. Oleh karena itu untuk mengurangi tingkat pencemaran air sungai, diperlukan

pengolahan air limbah sebelum masuk ke badan air.

Dari hasil uji analisa laboratorium yang dilakukan Dinas Lingkungan Hidup dan Kebesihan Kota Bogor di sungai Ciparigi yang bermuara pada sungai Ciliwung didapatkan hasil bahwa kandungan Fecal Coli yang sangat tinggi yaitu sebesar 18000 jml/100 dimana hal ini melampaui baku mutu yang telah ditetapkan yaitu sebesar 2000 jml/100. Hal ini disebabkan oleh masuknya limbah cair yang belum diolah.

Studi kelayakan yang sudah dilakukan terhadap sistem penyaluran dan instalasi pengolahan air limbah menggunakan UASB dan DHS untuk perum perumnas Wilayah Kecamatan Bogor Utara, Kota Bogor menunjukkan bahwa sistem tersebut layak untuk dibangun dari tinjauan aspek lingkungan, ekonomi dan teknis.

Dilihat dari aspek ekonomi sistem penyaluran dan instalasi pengolahan air limbah menggunakan UASB dan DHS layak untuk didirikan dengan alasan Nilai *benefit cost ratio* yang diperoleh lebih besar dari 1 yaitu 2,19.

Dari aspek teknis, teknologi ini sangat cocok untuk diterapkan, selain tingkat efisiensinya yang tinggi, desainnya

^{*)} Program Studi Teknik Lingkungan FT Undip
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang Semarang

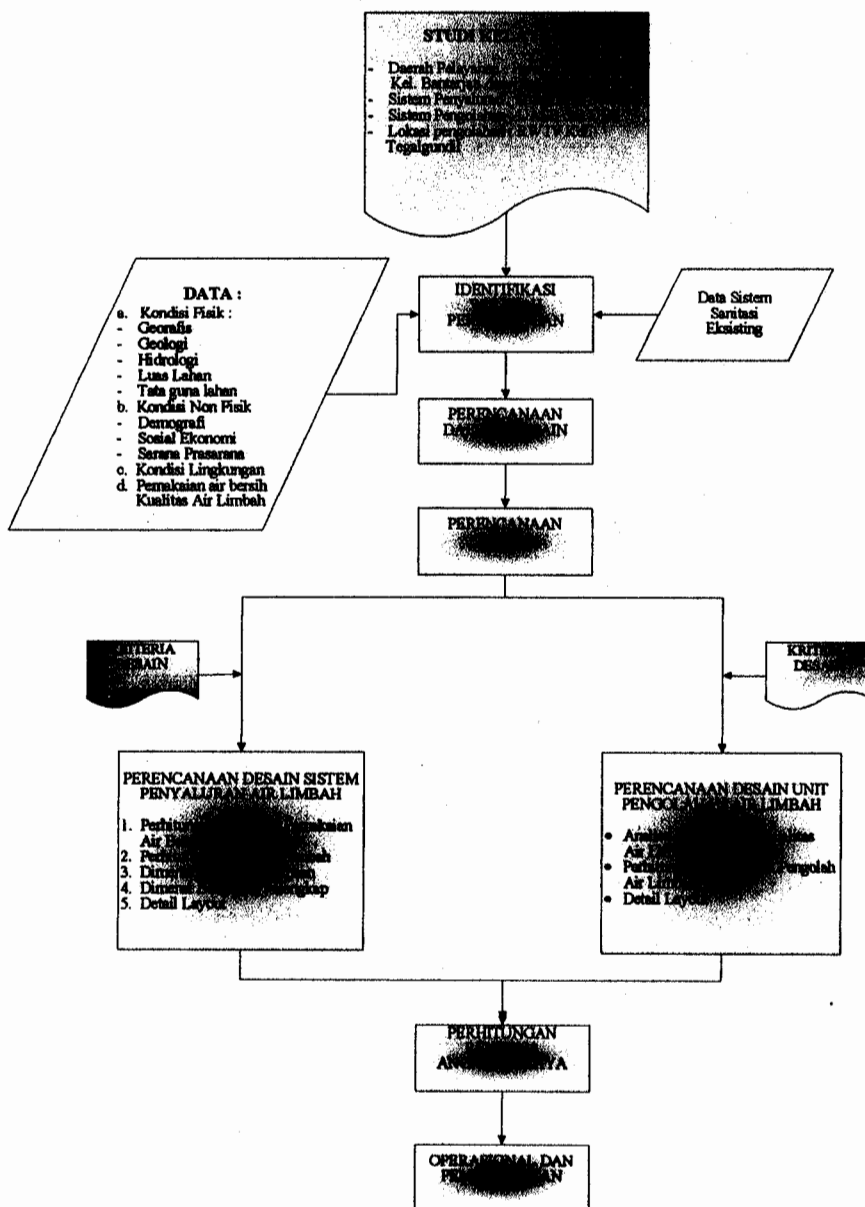
juga sangat tepat untuk diterapkan di daerah perumahan yang padat penduduknya seperti wilayah perumnas Wilayah Kecamatan Bogor Utara, Kota Bogor. (Agus Rifai, 2006).

Untuk mencapai sistem penyaluran dan instalasi pengolahan air limbah UASB dan DHS yang memenuhi kriteria desain diperlukan perencanaan dan desain yang baik. Berdasarkan hal ini, dalam tugas akhir ini akan dirancang instalasi sistem

penyaluran dan instalasi pengolahan air limbah dengan menggunakan teknologi UASB dan DHS dengan memperhatikan aspek teknis, biaya, dan lingkungan.

METODOLOGI DESAIN

Metodologi desain dapat dilihat pada gambar diagram alir tahapan desain (gambar 1).



Gambar 1 Diagram Alir Perencanaan

AMARAN DAERAH DESAIN

1. Kondisi Topografi

Topografi di wilayah kelurahan Bantarjati adalah berkisar antara 0 – 15% dan berada pada ketinggian sampai dengan 235 meter diatas permukaan air laut.

2. Kondisi Geologi

Kelurahan Bantarjati dan Tegal Gundil secara umum memiliki jenis tanah latosol dengan permeabilitas tanah clay.

3. Kondisi Hidrologi

Secara hidrologis kawasan ini dilewati 2 sungai, yaitu Sungai Ciparigi yang membatasi kelurahan Bantarjati dan Tegal Gundil dan Sungai Ciliwung yang berada di sebelah barat kelurahan Bantarjati dan bermuara di teluk Jakarta.

4. Tata Guna Lahan

Kelurahan Bantarjati dan Tegal Gundil dalam hal tata guna lahan, hampir secara keseluruhan digunakan untuk areal pemukiman, hal ini karena kedua kelurahan ini dekat dengan pusat kota Bogor, dan memiliki fasilitas sosial dan ekonomi maupun sarana pendukung lain seperti pendidikan, rekreasi, peribadatan serta fasilitas umum.

5. Kependudukan

Kelurahan Bantarjati dan Kelurahan Tegal Gundil mempunyai jumlah penduduk yang paling tinggi akan tetapi mempunyai luas wilayah yang sempit yaitu cuma 1,7 km² dan 1,98 km². Jumlah penduduk kelurahan Bantarjati akhir tahun 2003 adalah sebanyak 27.370 jiwa dengan kepadatan penduduk sejumlah 161 jiwa/Ha. Kelurahan Tegal Gundil mempunyai jumlah penduduk sebesar 31.482 jiwa dengan kepadatan penduduk sejumlah 159 jiwa/Ha.

6. Tingkat Pendidikan

Tingkat pendidikan masyarakat kelurahan Bantarjati dan Tegal Gundil sudah maju, sebagian telah mencapai pendidikan terakhir perguruan tinggi.

7. Mata Pencaharian

Jenis mata pencaharian masyarakat kelurahan Bantarjati dan Tegal Gundil sangat bervariasi, sebagian besar bekerja di jasa dan perdagangan, sebagian kecil sebagai PNS dan karyawan.

ANALISA PERHITUNGAN DESAIN

A. Review Hasil Studi Kelayakan

Dari hasil studi kelayakan didapatkan hasil bahwa daerah perencanaan yaitu

perumahan di kecamatan Bogor Utara, yang terdiri dari perumahan Indraprasta I, perumahan Bantarjati di kelurahan Tegal Gundil, dan perumahan Indraprasta II di kelurahan Tegal Gundil layak untuk diterapkan sistem off site baik dari aspek ekonomi, teknis dan lingkungan.

Perencanaan perumahan Indraprasta I untuk percontohan desain, sedangkan perumahan yang lain dilakukan pengembangan di masa mendatang. Pertimbangan pemilihan perumahan Indraprasta adalah adanya lokasi IPAL dan besarnya minat masyarakat untuk menerima program.

Sistem penyaluran air limbah menggunakan small bore sewer system, dan sistem pengolahannya menggunakan kombinasi teknologi UASB dan DHS. Lokasi pengolahan di RW IV kelurahan Tegal Gundil, dimana lokasi ini milik Pemkot Bogor dan direkomendasikan untuk lokasi pengolahan.

B. Sistem Penyaluran Air Limbah

Sistem penyaluran air limbah direncanakan menggunakan small bore sewer system, yaitu menggunakan pipa diameter kecil untuk menampung air limbah yang bebas padatan dan mengalirannya ke lokasi pengolahan. Sistem ini terdiri dari tiga komponen :

1. Sambungan Rumah, berupa instalasi pipa sanitasi dalam rumah.
2. Tangki Interceptor/ Tangki Septic. Tangki ini untuk menampung limbah tinja dari kloset.
3. Jaringan perpipaan, untuk mengalirkan limbah dari pipa persil ke unit pengolahan yang dilengkapi dengan manhole, cleanout, syphon dan pompa.

Desain sistem penyaluran air limbah domestik meliputi :

- a. Perhitungan Debit Air Limbah
Dihitung debit rata-rata, debit minimum, debit infiltrasi dan debit maksimum air limbah.
- b. Desain Jenis/Bahan dan Diameter Perpipaan.
Pipa yang digunakan adalah pipa PVC, dengan diameter 50 mm dan 75 mm untuk sambungan rumah, dan diameter 100 dan 150 untuk pipa lateral.
- c. Desain Sambungan Rumah

Air limbah dari kamar mandi dan dapur masuk bak kontrol, aliran dari Closet masuk ke septik tank, dan disambung dengan aliran dari kamar mandi dan

dapur di bak kontrol. Pada alat sanitasi dipasang leher angsa.

d. Cek Kecepatan aliran.

Kecepatan yang direncanakan adalah kecepatan yang swa bersih yaitu antara 0,6-3 m/dtk.

e. Bangunan Pelengkap

Bangunan pelengkap yang direncanakan adalah manhole, cleanout dan pompa. Jumlah manhole adalah 28 buah, Cleanout sebanyak 68 buah dan pompa sejumlah 5 buah. Manhole ditempatkan pada percabangan pipa baik pertigaan maupun perempatan. Cleanout ditempatkan di belokan pipa untuk mengurangi tekanan, sedangkan Pompa ditempatkan di tempat yang elevasinya sudah tidak memungkinkan untuk pengaliran secara gravitasi.

C. Sistem Pengolahan Air Limbah

Sistem pengolahan air limbah yang digunakan dalam desain ini adalah kombinasi teknologi UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) dan DHS (*Downflow Hanging Sponge*). Penggunaan kombinasi teknologi UASB dan DHS pada kawasan perumahan perumnas kecamatan Bogor Utara, kota Bogor ini berdasarkan beberapa pertimbangan, antara lain: manfaat, kebutuhan lahan, efisiensi pengolahan, ekonomi, estetika, serta operasi dan pemeliharaan. Efisiensi pengolahan dengan kombinasi teknologi UASB dan DHS adalah 85-96%. (Harada, 2000)

Desain unit pengolahan :

1. Menentukan dimesi *pre-treatment* (Bak Ekualisasi)

Panjang dan lebar sisi luar bak : 8 m, panjang sisi dalam bak : 6 m, dan kedalaman bak 2,5 m.

2. Menentukan dimensi reaktor UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*)

Diameter Reaktor : 4 m, dan kedalaman 6m. Reaktor dilengkapi dengan penangkap gas metan. Aliran dari bawah reaktor yang dipompa dari bak ekualisasi.

3. Menentukan dimensi reaktor DHS (*Downflow Hanging Sponge*)

Diameter Reaktor : 3 m, dan kedalaman 5m. Spon yang digunakan adalah spon kecil-kecil berukuran 27 x 27 mm. Aliran dari atas reaktor melalui pipa perforasi ke lapisan spon.

4. Menentukan dimensi Bak Pengereng Lumpur (SDB)

Panjang bak : 5 m, lebar bak : 3 m. Bak terdiri dari 3 lapisan pengereng berupa :

- Lapisan koral Ø 15 – 50 mm, tinggi 15 cm.
- Lapisan pasir Ø 0,5 – 5 mm, tinggi 25 cm.
- Lapisan koral Ø 15 – 50-mm, tinggi 10 cm.

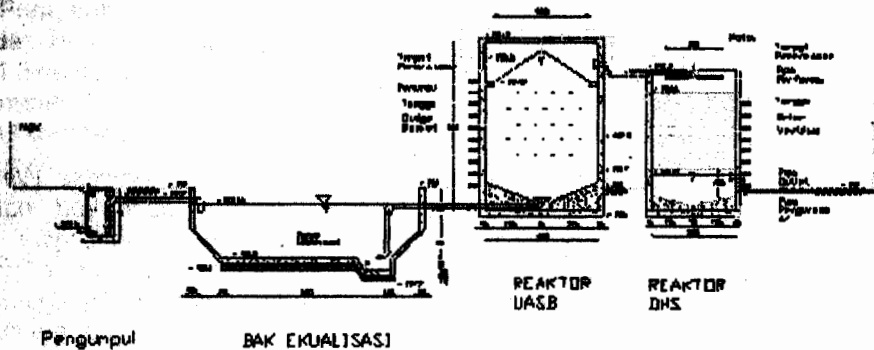
Dari hasil analisa dan perhitungan diatas, dapat dilihat bahwa konsentrasi BOD, COD, TSS dan fecal Coli hasil pengolahan di reaktor UASB dan DHS telah memenuhi standar baku mutu effluen limbah cair domestik (tabel 2).

Tabel 2. Kualitas Air Limbah Hasil Pengolahan

Parameter	Satuan	Kualitas Air Limbah	Pengolahan dg UASB		Pengolahan dg UASB & DHS		Baku Mutu
			% removal	Hasil olahan	% removal	Hasil olahan	
pH		7,2					
BOD	mg/l	215,3	64%	77,51	96%	8,612	100
COD	mg/l	448,6	59%	183,926	92%	35,888	-
TSS	mg/l	210	61%	81,9	95%	10,05	100
E Coli	Jml/100 ml	21000			99,73	56,7	2000

Sumber : Hasil Analisa Dan Perhitungan, 2006

IPAL KOMBINASI UASB dan DHS



Gambar 2. Skema IPAL Kombinasi UASB dan DHS

SIMPULAN

Sanitasi yang saat ini digunakan di Perumnas wilayah kecamatan Utara, kota Bogor adalah septic tank. Layanan penyaluran limbah cair statis pada desain ini adalah 1100 m di perumahan Indraprasta I Bantjarati.

Sistem pengolahan air limbah yang memungkinkan untuk diterapkan di Perumnas wilayah Kecamatan Utara, Kota Bogor adalah sistem off-line. Sistem Penyaluran yang digunakan dalam perencanaan adalah small bore system, dan pengolahannya menggunakan kombinasi teknologi UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) dan DHS (Downflow Hanging Spone).

Kualitas effluen limbah cair domestik melalui UASB dan DHS diharapkan memenuhi standar baku mutu kualitas limbah cair domestik menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup tahun 112 Tahun 2003.

DAFTAR PUSTAKA

- Perumnas, 2003, *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*
- McCullough and Eddy, 1991, *Waste Water Engineering Treatment Disposal and Reuse*, Mc Graw-Hill, Inc, Singapura.

Moduto, 2000, *Penyaluran Air Buangan Volume II*, ITB, Bandung

Qosim Syed R, 1985 *Waste Water Treatment Plant (Planning, Design, and Operation)*, CBS College Publishing, New York

Sugiharto, 1987, *Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah*, UI Press, Jakarta

Zeeman and Lens, *Biological Wastewater Treatment Part I Anaerobic Wastewater Treatment*, Wageningen Universiteit

PENERAPAN RECYCLE, REUSE DAN RECOVERY (3R) LIMBAH BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN SECARA OFF-SITE PT. PENGELOLA LIMBAH INDUSTRI BATAM (PLIB), JAKARTA

Sri Sumlyati^{*)}, Milda Restuti Iriany^{)}**

ABSTRACT

In every industries have capability to create waste from its production process. Waste represent remains substance (residu) from production process. Type of generated industrial waste depended from production activity that has done, such as raw material, type of production process, include the type of machine used that can influence the character of waste of itself. PT. Pengelola Limbah Industri Batam (PLIB) an Indonesia Waste Management Services Company which is licensed by the Government Republic of Indonesia in operation since 2004 provides a complete range of waste Management Services to industrial & commercial companies in Indonesia. One of kind waste characteristic which is needed furthermore management is hazardous waste. Appropriate to client's demand, PT. PLIB have a duty to manage the hazardous waste as one of PLIB's bussiness lines as it purpose to provides protect maximal environmental degradation. Kind of hazardous waste which is manage by PT is oil sludge and drilling cement cutting which is almost all of it come from oil industries.

Keywords : Hazardous Waste, Hazardous Waste Management, PT. PLIB

PENDAHULUAN

Industri di Indonesia telah mengalami perkembangan yang cukup pesat, bahkan beberapa daerah di Indonesia telah menjadi pusat kegiatan industri yang cukup besar. Tetapi kegiatan industri dewasa ini juga memberikan dampak buruk bagi lingkungan yang pada akhirnya berdampak buruk bagi manusia. Hal ini disebabkan timbulnya limbah yang merupakan hasil samping dari proses produksi yang berpotensi menimbulkan pencemaran di lingkungan. Salah satu limbah yang memiliki tingkat bahaya yang tinggi adalah limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Tuntutan dari hukum dan peraturan yang berlaku serta mulai timbulnya kesadaran masyarakat, akan pentingnya lingkungan mendorong berbagai perusahaan industri untuk menerapkan teknologi bersih atau produksi bersih yang bertujuan untuk meminimasi limbah hasil industri. Dimana keseluruhan pengelolaan limbah B3 didasarkan pada peraturan pemerintah yaitu PP No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun yang kemudian dilakukan perubahan pada PP No. 85 Tahun 1999.

PT. Pengelola Limbah Industri Batam (PLIB) merupakan sebuah

perusahaan yang bergerak di bidang penyediaan manajemen limbah. PLIB berusaha memberikan solusi atas permasalahan limbah yang dihasilkan oleh berbagai industri untuk kemudian dikelola agar tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Dalam memberikan solusi atas limbah yang harus dikelola, PLIB sedapat mungkin memberikan solusi yang efektif, ekonomis dan tidak merusak lingkungan. Melalui pelaksanaan kerja praktek ini diketahui bahwa limbah B3 yang pada pengelolaannya diterapkan recycle, reuse dan recovery adalah limbah *oil sludge* yang merupakan hasil dari kegiatan *tank cleaning* dan limbah *drilling cutting* yang merupakan hasil dari kegiatan eksplorasi dan produksi minyak.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun

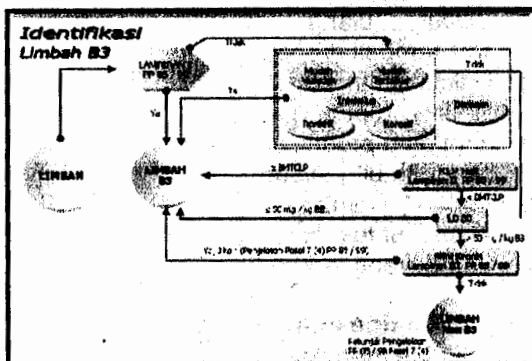
Menurut Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, limbah bahan berbahaya dan beracun (limbah B3) adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun yang karena sifat dan/atau konsentrasinya dan/atau jumlah, baik secara

langsung maupun tidak langsung dapat merusak dan/atau mencemari lingkungan hidup, dan/atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 85 Tahun 1999 dan Peraturan Pemerintah No 74 Tahun 2001 limbah yang termasuk limbah B-3 adalah limbah yang memenuhi salah satu atau lebih karakteristik sebagai berikut :

1. Limbah mudah meledak
2. Limbah mudah terbakar
3. Limbah yang bersifat reaktif
4. Limbah beracun
5. Limbah yang menyebabkan infeksi
6. Limbah bersifat korosif

Dalam Identifikasi limbah B3 berdasarkan PP No. 18 Tahun 2001 adalah sebagai berikut:

- Limbah B-3 dari sumber tidak spesifik
- Limbah B-3 dari sumber spesifik
- Limbah B-3 dari bahan kimia kadaluarsa, tumpahan, sisa kemasan (Anonim, 2006)



Gambar 1 Diagram Mekanisme Identifikasi Limbah B3

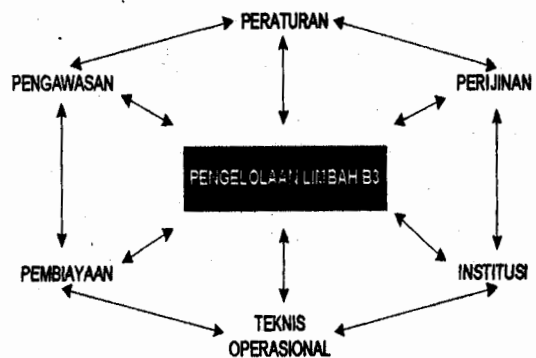
2. Pengelolaan Limbah B3

Prinsip-Prinsip Dasar Pengelolaan Limbah B3

- ♦ Minimasi Limbah
- ♦ Polluters Pays Principle
- ♦ Pengolahan dan Penimbunan Limbah B3 di Dekat Sumber
- ♦ Pembangunan Berkelanjutan Berwawasan Lingkungan
- ♦ Konsep "Cradle to Grave" dan "Cradle to Cradle"
- ♦ Konsep "Cradle To Grave" ialah upaya pengelolaan limbah B3 secara sistematis yang mengatur, mengontrol, dan memonitor perjalanan limbah dari mulai terbentuknya limbah sampai terkubur pada penanganan akhir. Sedangkan Konsep "Cradle To Cradle" adalah

konsep baru didalam suatu produksi industri yang berwawasan lingkungan. Pengertian dari konsep ini adalah suatu model dari sistem industri di mana material/bahan mengalir sesuai dengan siklus biologi.

Aspek Pengelolaan



Gambar 2 Aspek Pengelolaan Limbah B3

Untuk penjelasannya adalah sebagai berikut:

- **Pengaturan (legal)**
Peraturan yang mengatur tentang prosedur pengelolaan limbah B3 secara benar sehingga tidak menimbulkan kerusakan lingkungan hidup yang dapat membahayakan kehidupan manusia dan makhluk lainnya.
- **Institusi, Perijinan dan Pengawasan**
Pihak-pihak yang terkait dengan proses pengelolaan limbah B3 tersebut (Badan Institusi kontrol, penghasil, pengumpul, pengangkut, pendaur, pengolah, pemusnah, dan pemerintah)
- **Teknis operasional**
Cara pengelolaan limbah B3 secara benar dilapangan agar tidak membahayakan bagi lingkungan sekitar. Aspek yang terkait dengan teknik operasional ialah:
 1. Identifikasi (*Identification*) limbah B3
 2. Penyimpanan (*Storage*) limbah B3
 3. Pengumpulan (*Collect*) limbah B3
 4. Pengangkutan (*Transport*) limbah B3
 5. Pengolahan (*Treatment*) limbah B3
 6. Pelabelan limbah B3
 7. Pemusnahan (*Dispose*) limbah B3
- **Pembiayaan**

Faktor yang sangat berpengaruh pada proses pengelolaan limbah B3 di Indonesia karena biaya untuk melaksanakan prosedur pengelolaan secara benar masih cukup mahal sehingga mengakibatkan masih banyak industri yang tidak mampu

melaksanakan prosedur tersebut. (Anonim, 2006).

Pengolahan Limbah B3

Freeman (1998) menyebutkan bahwa pengolahan limbah B-3 adalah proses untuk mengubah karakteristik dan komposisi limbah B-3 untuk menghilangkan dan atau mengurangi sifat bahaya dan/atau sifat racun. Proses perubahan karakteristik dan komposisi limbah B-3 dilakukan agar limbah tersebut tidak berbahaya dan beracun.

3. Teknik Minimasi Limbah B3

Menurut Paul L. Bishop setiap pengoperasian industri pasti menghasilkan sejumlah limbah. Tidak ada operasi yang memiliki efisiensi 100 % bahan bakunya dikonversi menjadi produk jadi, demikian juga dengan bahan bakar yang digunakan sebagai sumber energi.

Minimasi limbah merupakan situasi yang saling menguntungkan (*win-win situation*), baik bagi pemerintah maupun industri yang menghasilkan limbah, dengan berkurangnya peraturan perundang-undangan, biaya pembuangan, dan kewajiban bagi pabrik serta mengurangi resiko bagi kesehatan masyarakat dan lingkungan. Produksi bersih adalah istilah industri untuk minimasi limbah.

Strategi yang paling baik dalam menangani polusi adalah dengan memakai segitiga terbalik pencegahan pencemaran. Keuntungan yang paling besar dari pengurangan polusi, akan diperoleh di puncak segitiga terbalik. Makin ke bawah keuntungannya semakin kecil dan biayanyapun makin ke bawah makin besar.

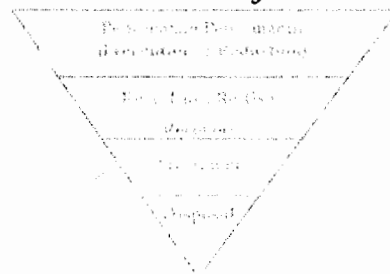
Teknik minimasi yang dapat dilakukan adalah :

- a. Substitusi Material
- b. Daur Ulang
- c. Modifikasi Proses
- d. Pemisahan Limbah

Sedangkan aktifitas minimasi limbah dapat berupa :

1. *recycling/reuse on-site*
2. *recycling/reuse off-site*
3. modifikasi peralatan/teknologi
4. reformulasi/desain ulang produk
5. penggantian bahan baku
6. menciptakan *housekeeping* yang baik, termasuk kontrol inventaris
7. *discontinue products*
8. *source reduction*
9. pemisahan limbah
10. *waste exchange* (Nicholas, 2003)

"Pollution Prevention Hierarchy"



Gambar 3 Hirarki Segitiga Terbalik Pencegahan Pencemaran

Reuse, Recycle dan Recovery

Pakai ulang (*reuse*) adalah pemanfaatan limbah dengan jalan menggunakannya kembali untuk keperluan yang sama atau fungsinya sama, tanpa mengalami pengolahan atau perubahan bentuk.

Daur ulang (*recycle*) adalah perolehan kembali dan penggunaan kembali, yang dilaksanakan melalui pengolahan fisik atau kimiawi, untuk menghasilkan produk yang sama atau produk yang lain.

Recovery (ambil ulang) adalah upaya pemanfaatan limbah dengan jalan memproses untuk memperoleh kembali materi/energi yang terkandung didalamnya

4. Limbah Sludge Industri Perminyakan

Sludge merupakan salah satu limbah yang dihasilkan dalam industri minyak bumi yang tidak dapat dibuang begitu saja ke dalam alam bebas karena dapat menyebabkan pencemaran lingkungan yang cukup berat dan jika dibuang ke lingkungan juga tidak akan terurai secara alamiah dalam waktu singkat.

5. Semen

Semen (*cement*) adalah hasil industri dari paduan bahan baku : batu kapur/gamping sebagai bahan utama dan lempung / tanah liat atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk/*bulk*, tanpa memandang proses pembuatannya, yang mengeras atau membatu pada pencampuran dengan air. Batu kapur/gamping adalah bahan alam yang mengandung senyawa Calcium Oksida (CaO), sedangkan lempung/tanah liat adalah bahan alam yang mengandung senyawa: Silika Oksida (SiO₂), Aluminium Oksida

(Al₂O₃), Besi Oksida (Fe₂O₃) dan Magnesium Oksida (MgO). Untuk menghasilkan semen, bahan baku tersebut dibakar sampai meleleh, sebagian untuk membentuk *clinkernya*, yang kemudian dihancurkan dan ditambah dengan gips (*gypsum*) dalam jumlah yang sesuai.

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Limbah B3 dan Karakteristik Limbah B3

Limbah B3 yang dikelola PT. PLIB adalah limbah *oil sludge* dan *drilling cement cutting* Uji karakteristik limbah B3 dilakukan di PT. Corelab dan PT. ALS Indonesia.

Tabel 1 Hasil Pengujian Karakteristik Limbah *Oil Sludge*

No	Parameter	Satuan	Oil Sludge	* Baku Mutu (mg/L)
1	Sulfur	% wt	1,56	-
2	Water Content	% Vol	22,5	-
3	Calorific Value	Kcal/Kg	8196	-
4	Chlorine	mg/L	0,99	-
5	Mercury	mg/L	0,0038	0,2
6	Arsenic	mg/L	0,0213	5
7	Chromium	mg/Kg	13,24	5
8	Lead	mg/Kg	5,64	5
9	Copper	mg/Kg	146,34	10

Sumber : PT. Corelab, 2007

Keterangan :

* : Baku mutu menurut Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999

Tabel 2 Hasil Pengujian Karakteristik Limbah *Drilling Cement Cutting*

No	Parameter	Satuan	DCC	Baku Mutu	
				* (mg/L)	** (mg/L)
1	Arsenic	mg/dry Kg	27	1	5
2	Barium	mg/dry Kg	86	20	100
3	Beryllium	mg/dry Kg	ND	5	-
4	Boron	mg/dry Kg	ND	200	500
5	Cadmium	mg/dry Kg	2,5	0,1	1
6	Chromium	mg/dry Kg	33	1	5
7	Cobalt	mg/dry Kg	7,1	0,4	-
8	Copper	mg/dry Kg	310	0,2	10
9	Lead	mg/dry Kg	84	1	5
10	Manganese	mg/dry Kg	252	0,2	-

Tabel 2 Hasil Pengujian Karakteristik Limbah *Drilling Cement Cutting* (Lanjutan)

No	Parameter	Satuan	Oil Sludge	* Baku Mutu (mg/L)	No
11	Mercury	mg/dry Kg	0,112	0,001	0,2
12	Nikel	mg/dry Kg	5,2	0,4	-
13	Selenium	mg/dry Kg	ND	1	1
14	Silver	mg/dry Kg	ND	0,4	5
15	Thalium	mg/dry Kg	ND	100	-
16	Tin	mg/dry Kg	ND	100	-
17	Vanadium	mg/dry Kg	10	5	-
18	Zinc	mg/dry Kg	651	0,1	50
19	Antimony	mg/dry Kg	ND	1	-

Sumber : PT. ALS Indonesia, 2007

Keterangan :

* : Baku mutu menurut PT. ALS Indonesia

** : Baku mutu menurut Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999

DCC : *Drilling Cement Cutting*

ND : *Not detected*

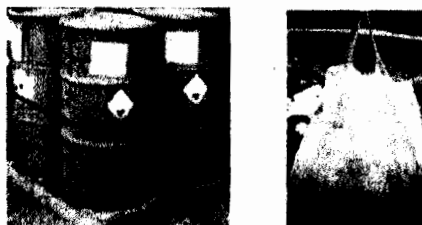
Pengelolaan Limbah B3

Pengelolaan limbah padat B3 yang dilakukan meliputi:

1. Pengemasan Limbah B3

Kemasan drum yang digunakan sebagai wadah limbah *oil sludge* berada dalam kondisi yang baik. Namun, masih terdapat drum-drum yang terlihat kurang terawat karena umur pemakaian yang sudah cukup lama.

Kemasan yang digunakan sebagai wadah limbah *drilling cement cutting* adalah *jumbo bag*. Kondisi *jumbo bag* masih berada dalam kondisi yang baik, tidak mengalami kebocoran maupun kerusakan.



Gambar 4 Kemasan Limbah B3

2. Penyimpanan Kemasan

Pelaksanaan penyimpanan kemasan limbah B3 kemudian dibandingkan dengan

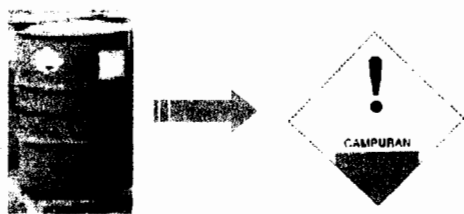
regulasi yang berlaku di Indonesia (Kep. 01/Bapedal/09/1995). Perbandingan pelaksanaan penyimpanan limbah B3 menunjukkan bahwa masih terdapat kekurangan dalam penyimpanan kemasan limbah B3 oleh PT. PLIB, yaitu pada lebar gang yang memiliki jarak kurang dari 60 cm.

3. Bangunan Penyimpanan Limbah B3

Peraturan tentang bangunan penyimpanan limbah B3 dapat dilihat pada Kep. Bapedal No. 01/ Bapedal/09/1995. Pada tahap penyimpanan ini, penyimpanan dilakukan oleh PT. Holcim Indonesia Tbk. Hal ini dikarenakan, pelaksanaan teknis 3r limbah B3 PT. PLIB dilakukan di PT. Holcim Indonesia Tbk dan PT. PLIB tidak melakukan penyimpanan limbah.

4. Label dan Simbol

Pelabelan dan simbol limbah B3 di PT. Pengelola Limbah Industri Batam berdasarkan regulasi yang berlaku berdasarkan Kep. 05/BAPEDAL/09/1995 tentang Simbol dan Label Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Berdasarkan regulasi yang telah ditetapkan dapat diketahui bahwa masih ada ketidaksesuaian yang terjadi pada pelabelan limbah B3, yaitu pada tempat pemasangan label.



Gambar 5 Pemasangan Simbol



Gambar 6 Pemasangan Label

5. Pengangkutan

Dalam proses pengelolaan limbah B3 perlu diadakan suatu dokumen limbah B3 agar limbah dapat dikendalikan dan kemungkinan untuk tidak terdeteksi keberadaannya kecil. Dokumen ini sering disebut juga manifest limbah B3.

Pelaksanaan dokumen limbah di PT. PLIB telah memenuhi regulasi yang berlaku yaitu Kep. 02/Bapedal/09/1995 tentang Dokumen Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.

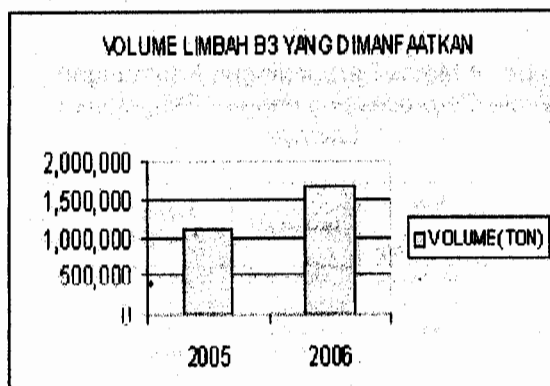
Mekanisme dokumen perjalanan limbah tersebut adalah :

- Pengangkut yang telah mempunyai izin dan terdaftar di KLH mengisi lembar 1 yang berwarna putih untuk pengangkut dan lembar 6 (warna krem). Lembar 1 merupakan lembar asli dan disimpan oleh pengangkut.
- Lembar 6 (warna krem) dikirim ke badan institusi kontrol (gubernur), memberikan lembar 4 (warna merah muda), 5 (warna biru), 7 (warna ungu) ke pengumpul/pemanfaat/pengolah (pihak ke-3) dan lembar 3 (warna hijau), 2 (warna kuning) ke penghasil
- Penghasil menyimpan lembar 3 (warna hijau) dan mengirim lembar 2 (warna kuning) ke KLH
- Pengumpul/pemanfaat/pengolah (pihak ke-3) menyimpan lembar 4 (warna merah muda) dan memberikan lembar 5 (warna biru) ke KLH dan lembar 7 (warna ungu) ke penghasil

Penerapan *Recycle, Reuse* dan *Recovery* Limbah B3

Limbah B3 yang dikelola oleh PT. Pengelola Limbah Industri Batam berupa oil sludge dan drilling cement cutting dinilai masih mempunyai nilai ekonomis, sehingga dilakukan *recycle, reuse* dan *recovery* terhadap limbah-limbah B3 tersebut. PT. PLIB dalam mengelola limbah B3 tersebut kembali pada misi dari PLIB sendiri, yaitu memberikan alternatif yang tepat, aman dan ekonomis.

Berdasarkan data yang ada di Kementerian Lingkungan Hidup total limbah B3 yang telah dimanfaatkan selama tahun 2006 mencapai 1.681.536,268 ton. Terjadi peningkatan volume 65.6% limbah dari tahun sebelumnya.



Gambar 7 Volume Limbah B3 yang Dimanfaatkan

Dalam mengontrol dan mempertahankan kualitas limbah ada dua langkah yang dilakukan oleh PT. PLIB dalam penerapan *recycle*, *reuse* dan *recovery* ini, yaitu:

1. Studi terhadap limbah dan metode pengolahan yang diterima.
2. Pengangkutan limbah, penerimaan dan proses pengolahan.

Waste co processing adalah penggunaan hasil samping atau limbah dari sebuah industri sebagai pengganti bahan bakar atau bahan baku untuk industri lain. Berdasarkan pengertian tersebut, dapat diketahui bahwa bentuk penerapan *recycle*, *reuse* dan *recovery* (3r) limbah B3 PT. PLIB dilakukan secara *off-site*, yaitu sebagai bahan baku dan bahan bakar alternatif dalam pembuatan semen PT. Holcim Indonesia Tbk.

Bentuk *recycle* limbah B3 pada pembuatan semen ini adalah sebagai bahan baku alternatif pada pembuatan semen, sedangkan bentuk *reuse* dan *recovery* limbah B3 pada pembuatan semen ini adalah sebagai bahan bakar alternatif.

Pada pembuatan semen, limbah *drilling cement cutting* yang sebagai bahan baku alternatif dicampur dengan bahan utama pembuat semen dengan perbandingan maksimal 1 : 9. Perbandingan tersebut menunjukkan batas penggunaan limbah *drilling cement cutting* sebagai bahan baku adalah 10 % dari jumlah bahan baku yang dibutuhkan setiap harinya yang berjumlah antara 1000 sampai 3000 ton/hari.

Penggunaan limbah yang dimasukkan sebagai bahan bakar diatur secara berkala di sela-sela memasukkan bahan bakar utamanya. Hal ini dikarenakan

terdapatnya kandungan air yang terdapat pada limbah. Walaupun memiliki kalori yang cukup besar, kandungan air dalam limbah dapat menurunkan suhu pembakaran pada kiln.

Tahapan proses produksi semen PT. Holcim Indonesia Tbk adalah :

1. *Raw Material Grinding*
Pada tahap ini dilakukan penghancuran bahan baku, baik utama maupun alternatif, sehingga bahan baku tidak berada dalam bentuk yang kasar lagi.
2. *Raw Meal Silo*
Tahap ini merupakan tempat hasil pengolahan sebelumnya serta pencampuran secara merata seluruh bahan baku. Pada tahap ini bahan baku tidak dalam bentuk kasar lagi tetap sudah berada dalam bentuk yang halus.
3. *Proses Pembakaran*
Pada tahap ini dilakukan tahap pembakaran dengan suhu $\pm 1450^{\circ}\text{C}$ di kiln yang berdiameter 2 meter dan panjang 20 meter.
4. *Clinker Silo*
Merupakan tempat semen yang masih dalam bentuk kasar yang merupakan hasil pembakaran.
5. *Cement Grinding*
Dilakukan penghancuran terhadap semen dalam bentuk kasar agar menjadi halus.
6. *Cement Silo*
Tempat hasil pengolahan sebelumnya dimana semen sudah tidak berbentuk kasar lagi tetapi sudah dalam bentuk yang halus.
7. *Bag Packing*
Merupakan tempat pengemasan semen yang sudah jadi

Pengawasan Pemanfaatan Limbah B3

Sesuai dengan regulasi yang berlaku di Indonesia, baik pihak penghasil limbah, pengumpul, pengangkut dan pemanfaat limbah wajib mengetahui jalannya limbah dan wajib melaporkan kegiatan yang berkaitan dengan limbah B3 tersebut. Demikian juga pada pemanfaatan limbah B3 PT. Limbah Industri Batam yang secara teknis dilakukan di PT. Holcim Indonesia Tbk. Hal ini sesuai dengan yang tercantum dalam perijinan pemanfaatan limbah B3, yaitu bahwa penanggungjawab kegiatan wajib melaporkan realisasi pemanfaatan limbah B3 serta hasil uji emisi udara kepada pihak-pihak yang terkait.

SARAN

Penerapan aspek-aspek teknis dalam pengelolaan limbah B3 harus disesuaikan dengan peraturan-peraturan yang berlaku dan diberikan penegasan pada pekerja lapangan yang menerapkan aspek-aspek tersebut. Hal ini dikarenakan terjadinya ketidaksesuaian antara peraturan tentang pengelolaan limbah B3 yang berlaku dengan keadaan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous. 2003. *Konsep Produksi Bersih Dan Penerapannya Pada Sektor Industri*. http://www.digilip_usu_fisip.ac.id
- _____. 2006. *Limbah sebagai Bahan Baku dan Alternatif Bahan Bakar pada Industri Semen*. <http://www.menlh.go.id/article.php.htm>
- _____. 2006. *Peraturan dan Perundangan Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun*. <http://www.b3indo.info/index.php>
- _____. 2006. *Proses Terjadinya Minyak Bumi, Proses Pengeboran Minyak Bumi, Sumber Daya Mineral Dan Energi*. <http://www.yahoo.com/geocities/geografi.html>
- _____. 2006. *Tahun 2006 1,7 Juta Ton Limbah B3 Dimanfaatkan*. <http://www.menlh.go.id.htm>
- _____. 2007. *Kajian Terhadap Semen Sebagai Calon Barang Kena Cukai Dalam Rangka Ekstensifikasi Obyek BKC*. [http://www.beacukai.go.id/Kajian Terhadap Semen.mht](http://www.beacukai.go.id/Kajian_Terhadap_Semen.mht)
- Agustina, Haruki. 2006. *Pengelolaan dan Pengendalian Limbah B3*. http://www.ums.ac.id/16-Pengelolaan_Limbah_B3.pdf
- Bishop, L. Paul. 2000. *Pollution Prevention: Fundamentals and Practice*. McGraw Hill Book Co : Singapore
- Cheremisinoff, Nicholas P. dan Paul N. 2003. *Encyclopedia of Environment and Pollution Control Vol. 3*. Jaico Publishing House : Mumbai
- Dewi, Retno Gumilang. 2007. *Minimisasi Limbah B-3*. http://www.google.com/limbah_b3/Waste-Minimization.ppt
- Freeman, H.M. 1998. *Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal Second Edition*. McGraw Hill Book Co : United States
- Kementrian Lingkungan Hidup. 2006. *Himpunan Peraturan Perundangan-undangan di Bidang Pengelolaan Lingkungan Hidup edisi 2006*. KLH

POLA PENYEBARAN LIMPASAN LOGAM LINDI TPA JATIBARANG PADA AIR SUNGAI KREO

Wiharyanto Oktiawan^{*)}, Ika Bagus Priyambada^{*)}

ABSTRACT

Landfill's leachate consists of many chemistry compound comes from dilution and process in landfill, including heavy metal. Jatibarang landfill's leachate flows into Kreo's river ends in Kaligarang river, source of PDAM Semarang City. Results of identification to five parameter (Fe, Mn, Cr, Zn, and Pb) shows maximal concentration in landfill before flows into Kreo's river is 22,775 mg/l for Fe, 9,625 mg/l for Mn, 1,095 mg/l for Zn, 1,5 mg/l for Cr, and no detection score for Pb. Results of screening shows three dominant parameter; Fe, Mn, Cr with total chemical score is 99,94%. Exposure assessment shows that the highest concentration level of Fe, Mn, Cr comes from sample's location near Jatibarang's leachate run off; 3,85 mg/l for Fe, 1,89 mg/l for Mn, and 0,266 mg/l for Cr. Reggresion equation for Fe with interval distance is $y = 3,839 - 4,91x$, Mn : $\log y = 0,213 - \log 0,519x$, Cr : $y = 0,203 - 0,0519x$. Increasing interval distance make less concentration level for Fe, Mn, Cr.

Key words : leachate, heavy metal Fe, Mn, Cr, exposure assessment

PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan saat ini dan tahun – tahun yang akan datang di daerah perkotaan, telah mengakibatkan terjadinya peningkatan aktivitas perkotaan di berbagai sektor, baik sektor perumahan, industri, perdagangan dan sektor lainnya. Peningkatan ini selalu diiringi dengan pertumbuhan volume limbah baik padat maupun cair. Pola ini akan terus berlanjut karena limbah padat khususnya sampah akan terus diproduksi selama manusia ada dan melakukan kegiatan kehidupan sehari-hari. Bertambahnya masalah persampahan merupakan konsekuensi logis dari pertambahan penduduk, hal ini akan menuntut peningkatan metode pengelolaan sampah yang lebih baik. Situasi dana serta prioritas penanganan sampah yang relatif rendah dari pemerintah daerah merupakan masalah umum dalam skala nasional (Damanhuri, 1996).

Salah satu masalah utama sampah adalah adanya lindi sampah. Apabila penanganan dan pengolahan lindi sampah tidak dilakukan secara optimal, lindi sampah ini akan masuk dalam tanah ataupun ikut terbawa dalam aliran air permukaan, sehingga dapat menimbulkan pencemaran air. Air permukaan yang tercemar dapat mengakibatkan meningkatnya biaya pemurnian air terlebih jika air sungai tersebut banyak mengandung bahan kimia dan logam berat.

Berdasarkan dari kenyataan tersebut di atas, perlu segera diupayakan penanganan untuk mengatasi terjadinya kenaikan tingkat pencemaran lingkungan yang merupakan dampak negatif dari kenaikan peningkatan sampah perkotaan yang pada akhirnya akan berpengaruh terhadap kesehatan lingkungan.

TPA Jatibarang adalah satu-satunya tempat pembuangan akhir sampah di Kota Semarang yang mulai dioperasikan sejak bulan Maret 1992. Lokasi TPA Jatibarang yang berada di daerah hulu Sungai Kreo yang alirannya menuju ke Sungai Kaligarang. Kondisi lindi di TPA Jatibarang yang dihasilkan oleh tumpukan sampah akan mengalir ke tempat-tempat yang lebih rendah, melalui parit-parit kecil dan masuk ke kolam penampung, kemudian masuk ke Sungai Kreo. Diketahui bahwa Sungai Kreo adalah hulu dari Sungai Kaligarang yang merupakan sumber bahan baku air minum untuk PDAM Kota Semarang. Aktifitas pengelolaan sampah di TPA Jatibarang menghasilkan lindi sampah yang dapat mencemari Sungai Kreo, terutama untuk parameter logam berat. Setelah TPA Jatibarang beroperasi selama 15 tahun perlu ditinjau kembali bagaimana penyebaran logam dari lindi yang dibuang dari TPA Jatibarang ke Sungai Kreo.

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi parameter logam berat yang terkandung dalam lindi sampah TPA

Jatibarang dan mengkaji penyebarannya di Sungai Kreo.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif yang mendeskripsikan dan menginterpretasikan apa yang ada, serta menitikberatkan pada suasana almah atau *naturalistik setting*. Penelitian dilakukan dalam skala lapangan yang mendekati kondisi riil dengan melakukan pengambilan sampel lindi TPA Jatibarang dan Sungai Kreo di sekitar TPA Jatibarang. Pengambilan sampel air lindi di TPA Jatibarang dilakukan pada 3 lokasi yaitu 1 lokasi pada outlet pengolahan lindi TPA dan 2 lokasi lainnya di tengah TPA dan inlet lindi yang belum memasuki pengolahan. Maksud dari pengambilan sampel ini adalah untuk mengumpulkan volume lindi yang akan dianalisa dalam jumlah sekecil mungkin tetapi mewakili yaitu mempunyai sifat-sifat yang sama. Pengambilan sampel di aliran air Sungai Kreo bertujuan untuk mengetahui kadar logam berat di Sungai Kreo karena adanya limpasan lindi dari TPA Jatibarang. Pengambilan sampel dilakukan pada 10 titik pada sungai Kreo sampai pertemuan antara Sungai Kreo dengan Sungai Kripik. Setelah dilakukan pengambilan dan pengukuran sampel, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan perkiraan distribusi cemaran dalam lokasi.

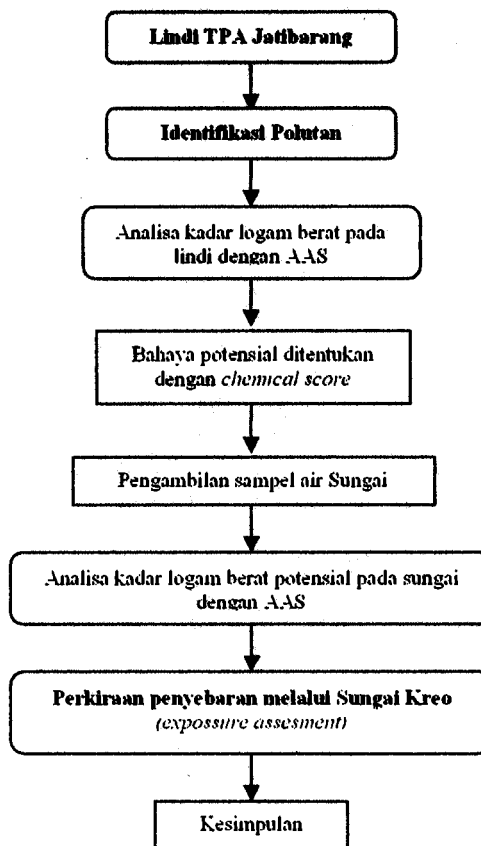
Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kondisi TPA Jatibarang

TPA Jatibarang terletak di Kelurahan Kedungpane Kecamatan Mijen Kota Semarang. Wilayah pelayanan TPA Jatibarang meliputi seluruh daerah di Kota Semarang. Luas areal TPA Jatibarang Semarang adalah $\pm 460.183 \text{ m}^2$, dengan rincian:

- Luas areal buang (60%) : $\pm 276.469,8 \text{ m}^2$
- Infrastruktur $\pm 184.073,2 \text{ m}^2$ yang digunakan untuk kolam lindi, sabuk hijau dan lahan penutup.



Gambar 1
Diagram Alir Penelitian

TPA Jatibarang merupakan daerah berbukit dan bergelombang dengan kemiringan lereng yang sangat curam lebih dari 24% dan mempunyai ketinggian bervariasi antara 65 meter sampai 200 meter dari permukaan laut. Kondisi topografi yang terjal ini membuat TPA Jatibarang mempunyai kapasitas tampungan yang besar tetapi dapat mengakibatkan sulitnya operasional alat berat.

TPA Jatibarang termasuk kawasan akuifer produktif setempat, yaitu akuifer dengan keterusan beragam dan umumnya tidak dimanfaatkan karena muka air tanah sangat dalam. Sungai-sungai yang berada di daerah Jatibarang adalah Sungai Kreo dan Sungai Kripik. Lokasi TPA Jatibarang ini berada di daerah hulu Sungai Kreo yang alirannya menuju ke sungai Kaligarang. Sekitar lokasi TPA Jatibarang terdapat sebuah aliran air permukaan yang

biasa disebut masyarakat setempat sebagai alur Cebong. Alur Cebong ini selanjutnya bersatu dengan Sungai Kreo, mengalir ke daerah hilir dari Sungai Kreo, bersatu dengan Sungai Kripik menuju Sungai Kaligarang. Debit Sungai Kreo berkisar antara 120 – 330 m³/dt. Sungai Kaligarang dipakai sebagai sumber air baku PDAM Kota Semarang.

Air tanah di sekitar lokasi TPA berupa air sumber dan juga air sumur penduduk dengan kedalaman berkisar antara 10 – 20 meter dari permukaan tanah. Untuk mengetahui dampak akibat resapan air lindi terhadap air tanah dibangun sumur kontrol yang berada \pm 300 meter di sebelah utara TPA. Tinggi muka air tanah di TPA Jatibarang \pm 6 m dari muka tanah setempat. Permeabilitas (kelulusan air) di lokasi TPA sebesar 2,32 x 10⁻⁵ cm/det.

Beberapa prasarana dan sarana di TPA Jatibarang kondisinya kurang baik. Saluran drainase banyak tertimbun sampah, sehingga air hujan banyak menggenang di lahan TPA. Hal ini dapat mengakibatkan meningkatnya debit lindi saat musim penghujan sehingga air lindi akan sulit dikendalikan. Dengan luas TPA Jatibarang 46 Ha, mempunyai debit lindi sekitar 60,66 m³/hari. Sistem pengolahan lindi yang dibangun saat ini adalah dengan menggunakan pengolahan biologis secara aerob, yaitu dibangunnya 4 kompartemen kolam dengan kedalaman 90 cm, 2 kompartemen sebagai bak pengendap dan 2 kompartemen berikutnya adalah sebagai kolam aerasi, dengan volume total 650 m³. Limpasan lindi yang dihasilkan oleh TPA Jatibarang ini dikhawatirkan dapat mencemari badan air sungai Kreo yang mana merupakan sumber air baku PDAM Semarang.

2. Analisis Lindi TPA Jatibarang

Lindi sampah di TPA Jatibarang dihasilkan oleh tumpukan sampah yang dibuang ke TPA. Lindi yang dihasilkan oleh tumpukan sampah di TPA Jatibarang ini secara gravitasi akan mengalir ke tempat-tempat yang lebih rendah, melalui parit-parit kecil dan masuk ke kolam penampungan, yang limpasannya masuk ke Sungai Kreo.

Tidak semua logam berat yang berada dalam lindi TPA Jatibarang akan dianalisis, untuk itu diperlukan suatu penyaringan (*screening*) awal untuk

memilah logam berat apa yang akan dianalisa. Logam berat yang terkandung dalam lindi yang akan dianalisa adalah Fe, Pb, Mn, Zn, dan Cr. Hasil analisa lindi di TPA Jatibarang untuk parameter Fe, Mn, Zn, Cr, dan Pb dengan AAS (*Atomic Adsorption Spectrofotometer*) adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Analisa Lindi TPA Jatibarang

Kontaminan	Lokasi Sampel	Konsentrasi
		ppm
Fe	A	22,775
	B	6,9
	C	3,9
Mn	A	9,625
	B	9,025
	C	2,275
Zn	A	1,095
	B	0,253
	C	0,06
Cr	A	1,5
	B	0,8
	C	0,3
Pb	A	tidak terdeteksi
	B	tidak terdeteksi
	C	tidak terdeteksi

Keterangan:

A (lindi di bawah jembatan)

B (aliran lindi menuju inlet pengolahan)

C (outlet pengolahan lindi)

Dari hasil analisa AAS lindi TPA Jatibarang di atas, dilakukan penyaringan (*screening*) untuk mencari kontaminan yang paling dominan dan mempunyai tingkat resiko terbesar di TPA Jatibarang. Untuk itu, perlu diketahui besarnya *Reference Dose* dan *Slope Factor* dari tiap - tiap kontaminan. Besarnya *Reference Dose* dan *Slope Factor* didasarkan ketentuan dari EPA dalam www.epa.gov/iris, yaitu :

Tabel 2. Reference Dose dan Slope Factor

Kontaminan	Cmax (mg/kg)	RfD(Reference Dose)
Fe	22,775	0,006
Mn	9,625	0,005
Zn	1,095	0,3
Cr	1,5	0,005
Pb	Tidak terdeteksi	-

Dari tabel di atas, selanjutnya dapat dihitung besarnya *chemical score* untuk tiap kontaminan dengan rumus :

$$R = \frac{C_{\max}}{RfD}$$

Sehingga diperoleh nilai R sebagai berikut:

Tabel 3. Nilai *Chemical Score* Tiap Kontaminan

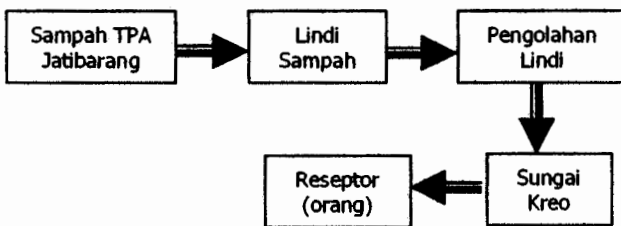
Kontaminan	R	Peringkat	% Jumlah
Fe	3795.83	1	63,007
Mn	1925	2	31,953
Zn	3,650	4	0,0605
Cr	300	3	4,979
Pb	0	5	0
Jumlah	6024,48		100%

Kontaminan yang mempunyai nilai *chemical score* tertinggi adalah Fe, disusul Mn, Cr dan Zn.

Menurut Ricard J Watts (1997), kontaminan yang dipilih untuk mewakili keadaan sebenarnya yang terjadi di TPA harus memiliki total *chemical score* 99%. Dengan nilai *chemical score* sebesar 99,94% kontaminan yang akan dianalisa selanjutnya adalah Fe, Mn, dan Cr.

3. Perkiraan Persebaran (*Exposure Assessment*)

Dalam tahap ini diperkirakan besarnya intake Fe, Mn, dan Cr karena penggunaan Sungai Kreo yang sudah tercemar limpasan lindi TPA Jatibarang dan dibandingkan dengan besarnya intake Fe, Mn, Cr di hulu Sungai Kreo yang belum tercemar limpasan lindi TPA Jatibarang dan dengan besarnya intake di pertemuan antara Sungai Kreo dengan Sungai Kripih. Gambar 2. mengilustrasikan bagaimana jalur paparan logam berat dalam lindi terjadi.



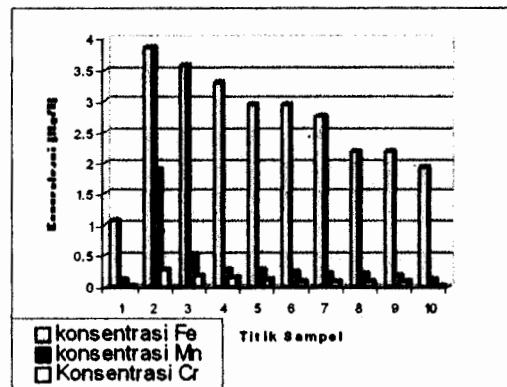
Gambar 2. Jalur Paparan Logam Berat Dalam Lindi

Besarnya konsentrasi Fe, Mn dan Cr Sungai Kreo di 10 lokasi yaitu hulu Sungai Kreo, titik limpasan lindi TPA Jatibarang sampai dengan pertemuan antara Sungai Kripih dengan Sungai Kreo berdasarkan hasil analisa dengan AAS dapat dilihat pada tabel 4:

Tabel 4.
 Konsentrasi Fe, Mn, dan Cr di
 Sungai Kreo

Titik	Lokasi	Jarak (km)	Para meter	Konst (ppm)
1	Hulu Sungai Kreo, Objek Wisata Gua Kreo, Kabupaten Semarang	-1,5	Fe	1,07
			Mn	0,09
			Cr	0
2	Outlet Pengolahan lindi TPA Jatibarang	0,02	Fe	3,85
			Mn	1,89
			Cr	0,266
3	Ujung Barat Daya Dari TPA Jatibarang	0,5	Fe	3,58
			Mn	0,52
			Cr	0,153
4	Sebelah Barat TPA Jatibarang	1	Fe	3,28
			Mn	0,26
			Cr	0,138
5	Dukuh Pucung, Kecamatan Ngaliyan, Kota Semarang.	1,5	Fe	2,95
			Mn	0,26
			Cr	0,0923
6	Dukuh Pucung, Kecamatan Ngaliyan, Kota Semarang	2	Fe	2,94
			Mn	0,23
			Cr	0,077
7	Dukuh Pucung, Kecamatan Ngaliyan, Kota Semarang	2,5	Fe	2,76
			Mn	0,21
			Cr	0,0615
8	Sebelum Jembatan Sungai Kreo, Manyaran, Kota Semarang	3	Fe	2,19
			Mn	0,19
			Cr	0,0615
9	Dibawah Jembatan Sungai Kreo, jln. Gisiksari, Manyaran.	3,5	Fe	2,17
			Mn	0,17
			Cr	0,0612
10	Pertemuan Sungai Kreo dan Kripih, samping perum Green Wood Estate.	4	Fe	1,91
			Mn	0,12
			Cr	0

Dari tabel ini dapat diketahui hubungan antara jarak pengambilan sampel dengan konsentrasi logam berat (Fe, Mn dan Cr) di Sungai Kreo seperti digambarkan pada gambar 3.



Gambar 3. Konsentrasi Fe, Mn dan Cr Di Sungai Kreo

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan SPSS 10.0 didapatkan persamaan regresi untuk konsentrasi Fe

(variabel dependen) dan jarak pengambilan sampel (variabel independen), sebagai berikut : $y = 3,839 - 4,91x$, dengan r^2 sebesar 0,97. Dari hal ini dapat ditarik kesimpulan bahwa 97% konsentrasi Fe di Sungai Kreo dapat dijelaskan dengan jarak pengambilan sampel, dan setiap pengurangan 1% jarak akan meningkatkan konsentrasi Fe di Sungai Kreo sebesar 4,91% atau penambahan jarak sebesar 1% akan mengurangi konsentrasi Fe di Sungai Kreo sebesar 4,91%. Jadi penambahan jarak sebesar 40 m akan menurunkan konsentrasi Fe sebesar 0,189 ppm. Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa terjadi kenaikan konsentrasi Fe dari titik sampel 1 ke titik sampel 2 yang terletak pada lokasi limpasan lindi TPA Jatibarang, dari hal dapat disimpulkan bahwa limpasan lindi dari TPA Jatibarang telah meningkatkan konsentrasi Fe di Sungai Kreo. Penurunan konsentrasi Fe terjadi dari titik sampel 2 sampai 9. Dari persamaan regresi diatas dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak dari TPA konsentrasi Fe akan semakin menurun. Persamaan regresi untuk Cr adalah : $y = 0,188 - 0,0412x$ dengan r^2 sebesar 0,707. Kesimpulan dari hal ini adalah bahwa 70,7% konsentrasi Cr di Sungai Kreo dapat dijelaskan dengan jarak pengambilan sampel, dan setiap pengurangan 1% jarak akan meningkatkan konsentrasi Cr di Sungai Kreo sebesar 0,0412% atau penambahan jarak sebesar 1% akan mengurangi konsentrasi Cr di Sungai Kreo sebesar 0,0412%. Jadi penambahan jarak sebesar 40 m akan menurunkan konsentrasi Cr sebesar 0,00011 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi kenaikan konsentrasi Cr dari titik sampel 1 ke titik sampel 2 yang terletak pada lokasi limpasan lindi TPA Jatibarang, dari hal dapat disimpulkan bahwa limpasan lindi dari TPA Jatibarang telah meningkatkan konsentrasi Cr di Sungai Kreo. Penurunan konsentrasi Cr terjadi dari titik sampel 2 sampai 9. Dari persamaan regresi diatas dapat disimpulkan bahwa makin jauh jarak dari TPA konsentrasi Cr akan semakin berkurang.

Persamaan regresi untuk Mn adalah : $\log y = -0,396 - \log 0,736x$ dengan nilai r^2 adalah 0,969. Dari hal ini dapat ditarik kesimpulan bahwa 96,9% konsentrasi Mn di Sungai Kreo dapat dijelaskan dengan jarak pengambilan sampel, dan setiap pengurangan 1% jarak akan meningkatkan konsentrasi Mn di

Sungai Kreo sebesar $\log 0,736\%$ atau penambahan jarak sebesar 1% akan mengurangi konsentrasi Mn di Sungai Kreo sebesar $\log 0,736\%$. Jadi penambahan jarak sebesar 40 m akan menurunkan konsentrasi Mn sebesar 0,00252 ppm. Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa terjadi kenaikan konsentrasi Mn dari titik sampel 1 ke titik sampel 2 yang terletak pada lokasi limpasan lindi TPA Jatibarang, dari hal dapat disimpulkan bahwa limpasan lindi dari TPA Jatibarang telah meningkatkan konsentrasi Mn di Sungai Kreo. Penurunan konsentrasi Mn terjadi dari titik sampel 2 sampai 9. Dari persamaan regresi diatas dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak dari TPA konsentrasi Mn akan semakin berkurang.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari kajian ini adalah sebagai berikut :

1. Dari hasil identifikasi bahaya (*hazard identification*) terhadap 5 parameter logam berat dalam lindi sampah TPA Jatibarang didapatkan konsentrasi maksimal yaitu Fe 22,775 mg/l, Mn 9,625 mg/l, Zn 1,095mg/l, Cr 1,5 mg/l dan Pb tidak terdeteksi.
2. Dari hasil penyaringan (*screening*) terhadap 5 parameter logam berat dalam lindi didapatkan 3 parameter dominan yaitu Fe, Mn dan Cr dengan total skor kimia (*chemical score*) 99,94%.
3. Konsentrasi Fe, Mn, Cr terbesar terletak pada limpasan lindi TPA Jatibarang, dan terjadi kenaikan konsentrasi Fe, Mn dan Cr dari lokasi sebelum terkena limpasan lindi dari TPA Jatibarang ke lokasi setelah mendapatkan limpasan lindi TPA Jatibarang.
4. Konsentrasi Fe, Mn dan Cr akan berkurang dengan bertambahnya jarak pengambilan sampel.

SARAN

1. Dalam rangka mengurangi beban cemaran dan menjaga kualitas air Sungai Kreo, disarankan untuk meresirkulasikan lindi yang dihasilkan oleh TPA Jatibarang dan mengembalikan ke lahan urug.
2. Diperlukan perbaikan *leachate collection* untuk memastikan semua

lindi yang dihasilkan masuk ke IPAL tersebut.

3. Diperlukan suatu evaluasi terhadap kinerja kolam pengolahan lindi TPA Jatibarang.
4. Diperlukan kajian lebih lanjut tentang pengaruh lindi yang dihasilkan oleh TPA Jatibarang terhadap kualitas air tanah dan tanah di sekitar TPA Jatibarang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Atas selesainya penelitian ini, penulis ucapkan terima kasih kepada Alfia Dianita yang telah ikut berperan dalam penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2003, *Profil Tempat Pembuangan Akhir Sampah Jatibarang*, Semarang, Dinas Kebersihan Kota Semarang.
- _____, 1990, *SK SNI T- 13 - 1990 - F (Tata cara Pengelolaan Teknik Sampah Perkotaan)*, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Anonim, 2003, *Profil Tempat Pembuangan Akhir Sampah Jatibarang*, Dinas Kebersihan Kota Semarang, Semarang.
- Chapra, Steven C, 1997, *Surface Water Quality Modelling*, Mc Graw Hill Company Inc, Singapore.
- Cairney, Tom, 1995, *The Reuse of Contaminated Land (Risk Assessment Hand Book)*, John Wiley & Sons Ltd, England.
- Damanhuri, Enri, 1996, *Teknik Pembuangan Akhir*, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITB, Bandung.
- Fortsner dan F Prosi, 1978, *Heavy Metal Pollution Ecosystems*, Pegamon Press
- LaGrega, Micheal D, 2001, *Hazardous Waste Management*, Mc Graw Hill Company Inc, Singapore.
- Klein, Louis, Dr, 1973, *River Pollution (Chemical Analysis)*, Butter Worths, London.
- Richardson, ML, 1989, *Toxic Hazard Assesment of Chemical*, The Royal Society of Chemistry, Great Britain.
- Rhyne, William R, 1994, *Hazardous Material Transportation Risk Analysis*, Thomson Publishing Company, Van Nostrand Reinhold.
- Santosa, Singgih, 2003, *Mengatasi Berbagai Masalah Statistik Dengan Spss Versi 11.5*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Tim Dosen Fakultas Teknik Unissula, 2001, *Kajian Kandungan Lindi Sampah TPA Jatibarang Kecamatan Mijen Kota Semarang*, Semarang.
- Tchobanoglous, George Hillary Theisen & Samuel Vigil, 1993, *Integrated Solid Waste Management (Engineering Principles and Manajemen Issue)*, Mc Graw Hill Company Inc, Singapore.
- www.epa.gov/iris
- Theresa L, 1997, www.extoxnet.orst.edu/faqs/risk/riskhome.htm
- Watts, Ricard J, 1997, *Hazardous Waste : Sources, Pathways, Receptor*, John Willey & Sons Inc, New York USA.
- Wentz, Charles A, 1995, *Hazardous Waste Management Second Edition*, Mc Graw Hill Company Inc, New York.

PENGARUH PENCAampurAN LUMPUR TINJA PADA PENGOMPOSAN SAMPAH ORGANIK (Studi Kasus TPA Jeruklegi Kabupaten Cilacap)

Mochammad Arief Budihardjo^{*)}, Cahyo Harsanto^{**)}

ABSTRACT

Solid Waste has become an important issue to a vast populated city. This is caused by the large amount solid waste volume, exceeding the capacity of the landfill, a narrowed area of the landfill, an ineffective solid waste management. The total amount of solid waste volume of Cilacap at the year 2007 is 535, 098 m³/day with a weight of 276.940 kg/day. The existing organic waste is 434, 39 m³/day. The composting process has becoming important because 50-80% city waste were a compost organic waste ingredient. The process of composting could reduce waste to more than 60%. Composting could be done to figure out the optimal composition mixture between waste and faecal sludge, knowing the ingredient characteristic and a mature compost (C, N, P, K), to find influence of added faecal sludge on rate of compost maturity and to find a quality of compost which specify according to the SNI 19-7030-2004. composting were done with the mixing ratio between waste : faecal sludge (kg/kg) = 1:0,1 ; 1:0,2; 1:0,4 ; 1:0,6 ; 1:0,8 and 1:1,0. The method used is open windrow. The achieved result are, the fastest rate of maturity at 1:0, 4 (28 days) and all the variation has specify the SNI 19-7030-2004. The most optimal composition is 1:1,0 with the resulted compost of 1.150 gram.

Key words: Compost, organic waste, faecal sludge

I. PENDAHULUAN

Sampah menjadi masalah yang penting untuk kota yang padat penduduknya. Hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor seperti, volume sampah yang sangat besar, melebihi kapasitas TPA, Lahan TPA yang semakin sempit, manajemen pengelolaan sampah yang tidak efektif sehingga sering menimbulkan masalah (Sudradjat, 2006). Pada Kabupaten Cilacap pada tahun 2007 jumlah volume total adalah 535,098 m³ perhari dengan berat sekitar 276.940 kg perhari, sampah organik yang ada sebesar 434,39 m³ perhari (Data Primer, 2007).

Di TPA Jeruklegi terdapat IPLT, yang saat ini tidak beroperasi. Namun mengingat IPLT tersebut adalah satu-satunya di kota Cilacap, maka alangkah baiknya IPLT tersebut dapat dioperasikan lagi. Hal ini dikarenakan Lumpur Tinja yang telah diolah nantinya dapat digunakan sebagai campuran bahan kompos. IPLT di TPA memiliki unit pengolah yang sama dengan IPLT Tambakrejo Semarang.

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui kandungan C, N, P, K dan C/N sampah organik, lumpur tinja dan kompos matang.

2. Mengetahui komposisi optimal campuran antara sampah dengan lumpur tinja.
3. Mengetahui pengaruh pencampuran lumpur tinja dengan sampah domestik organik terhadap laju kematangan kompos.
4. Mengetahui komposisi sampah organik dan lumpur tinja yang paling cepat matang dan kualitas kompos yang terbaik berdasarkan SNI 19-7030-2004.

Sampah diartikan sebagai limbah yang di hasilkan dari aktivitas manusia dan hewan yang kesemuanya dalam bentuk padat yang sudah tidak digunakan atau tidak terpakai lagi (Tchobanoglous et al, 1993).

Sampah organik adalah sampah yang berasal dari benda-benda atau makhluk hidup. Sebagai contoh, sampah organik ini terdiri dari sisa sayur-sayuran, sisa buah-buahan dan juga daun-daunan.

Lumpur tinja atau disebut juga *septage* (*septijid*) adalah seluruh tangki septik, cubluk tunggal atau endapan lumpur dari *underflow* unit pengolahan air limbah lainnya yang pembersihannya dilakukan dengan mobil (Anonim, 2000) atau lumpur yang dihasilkan dalam sistem pembuangan air limbah *on-site* secara individual

khususnya tangki septik dan cesspool (Tchobanoglous, 1991).

Pengomposan didefinisikan sebagai proses dekomposisi materi organik secara biologis menjadi material seperti humus dalam kondisi aerobik yang terkendali (Wahyono, 2003). Kompos merupakan zat akhir suatu proses fermentasi tumpukan sampah/seresah tanaman dan adakalanya pula termasuk bangkai binatang (Sutejo, 1999).

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pengomposan seperti :

a. Kelembaban/kadar air

Kadar air yang dibutuhkan untuk proses pengomposan awal adalah 40-60% (Murbando, 2006).

b. Temperatur

Rentang optimum untuk proses pengomposan adalah pada temperatur 35-55°C (Wahyono, 2003).

c. Perbandingan C/N

Perbandingan C/N yang optimum untuk proses pengomposan adalah berkisar antara 25-50 (Tchobanoglous et al, 1993).

d. Derajat Keasaman (pH)

Kondisi optimum pH adalah 7 atau mulai dari 5 sampai 8 (Wahyono, 2003).

II. METODOLOGI

Sampel yang diambil dilakukan uji pendahuluan di laboratorium untuk mendapatkan karakteristik bahan seperti kadar C, N, P, K, kadar air. Setelah karakteristik lumpur tinja dan sampah organik didapatkan, maka dapat disusun perbandingan komposisi bahan dasar kompos berdasarkan rumus. Dari perhitungan tersebut maka dipilih perbandingan komposisi antara lumpur tinja dan sampah organik yang memenuhi kisaran nilai standar bahan dasar kompos yaitu rasio C/N 25-50 (Tchobanoglous et al, 1993). Variasi komposisi tersebut kemudian dipergunakan dalam penelitian ini.

Dari variasi tersebut (tabel 1) komposisi sampah organik lebih banyak karena latar belakang penelitian ini adalah upaya untuk mereduksi sampah. Penelitian dilakukan dengan jumlah bahan tiap tumpukan 10 kg.

Pada proses pengomposan dilakukan pengukuran suhu dan pH setiap hari. Kemudian dilakukan pembalikan setiap satu minggu sekali dan dilakukan penyiraman bila diperlukan.

Setelah matang, kemudian diambil sampel untuk dilakukan uji lab. Akhir. Dari hasil lab. Akhir ini akan didapatkan karakteristik kompos matang. Karakteristik ini kemudian dibandingkan dengan SNI 19-7030-2004 dan dianalisa.

Tabel 1 Variasi Kompos

Variasi	Sampah Organik (kg)	Lumpur Tinja (kg)	C/N (%)	Kadar air (%)
Variasi K	1	0,0	78.42	63.82
Variasi 1	1	0,2	44.33	55.97
Variasi 2	1	0,4	35.68	50.37
Variasi 3	1	0,6	31.72	46.17
Variasi 4	1	0,8	29.46	42.90
Variasi 5	1	1,0	27.99	40.28

Sumber : Hasil analisis, 2007

Tabel 2 Jumlah Kebutuhan Bahan

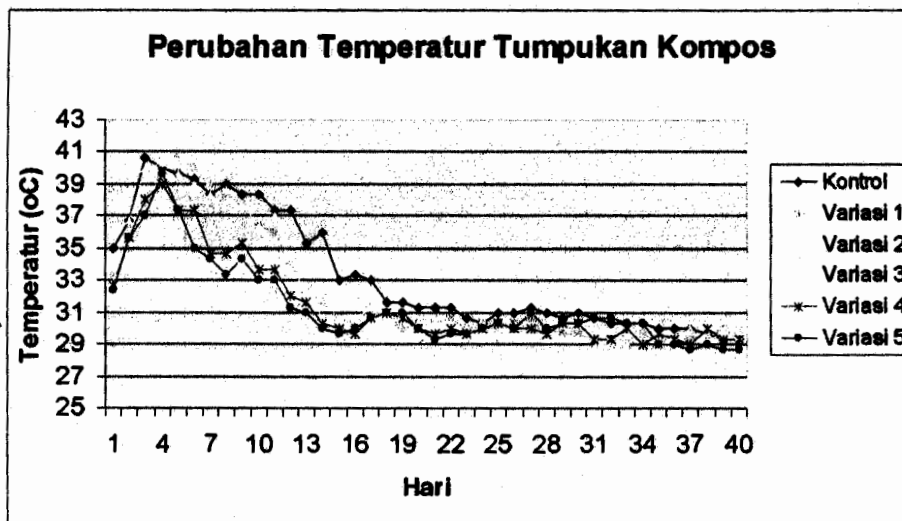
Rasio sampah : Lumpur tinja (kg/kg)	sampah (kg)	Lumpur tinja (kg)
1 : 0.0	10.00	0.00
1 : 0.2	8.33	1.67
1 : 0.4	7.14	2.86
1 : 0.6	6.25	3.75
1 : 0.8	5.56	4.44
1 : 1.0	5.00	5.00

Sumber : Hasil Analisa, 2007

III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Analisa dilakukan dengan uji pendahuluan terlebih dahulu. berikut adalah hasil uji pendahuluan yang dilakukan

Dari hasil laboratorium, dihitung rasio C/N dan kadar air campuran sehingga sesuai dengan syarat C/N=25-50 (Tchobanoglous, 1993) dan kadar air =40-60% (Wahyono, 2003).



Gambar 2 Grafik Perubahan Temperatur Tumpukan Kompos
Sumber : Data Primer, 2007

Pada proses pengomposan diatas suhu naik pada awal kemudian turun perlahan ke suhu normal. Kurva perubahan temperatur kompos melalui tahap penghangatan, temperatur puncak, pendinginan, dan pematangan (Dalzell et al, 1987).

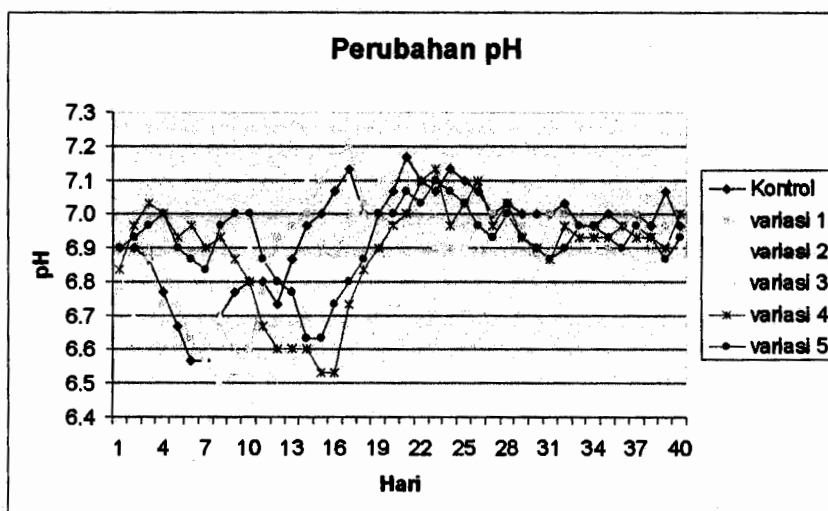
Proses pengomposan dipengaruhi oleh aktivitas mikorba. Mikroba dikelompokkan menjadi 3, cryofilic ($5-10^{\circ}\text{C}$), mesofilik ($10/15-40/45^{\circ}\text{C}$), dan termofilik ($40/45-70^{\circ}\text{C}$). Pengomposan saat ini biasanya mengkombinasikan rentang mesofilik dan termofilik. Ada pendapat yang menyatakan bahwa proses pengomposan pada rentang temperatur mesofilik (kondisi dibawah 45°C) lebih efisien daripada termofilik sehingga pengomposannya lebih cepat, pada sisi lain proses pengomposan termofilik yang menghasilkan temperatur yang tinggi akan dapat mematikan bakteri patogen. Dan kondisi tersebut dianggap sebagai faktor positif (wahyono, 2003). Namun pada penelitian ini suhu tidak mencapai fase termofilik, suhu maksimum hanya $40-41^{\circ}\text{C}$. Hal ini disebabkan karena tinggi tumpukan rendah. Tinggi tumpukan yang rendah menyebabkan panas mudah menguap karena tidak ada bahan yang menahan panas.

Temperatur optimal untuk pengomposan adalah $30-50^{\circ}\text{C}$ (hangat) (indriani, 2005). Hal ini berarti proses pengomposan telah berlangsung dengan baik karena masih berada dalam rentang

$30-50^{\circ}\text{C}$ meskipun temperatur tumpukan tidak mencapai fase termofilik.

Perubahan temperatur pada variasi kontrol, bila dibandingkan dengan variasi lainnya menunjukkan bahwa tingkat penurunan temperatur setelah titik puncak berjalan sangat lambat. Dari grafik dapat dilihat bahwa temperatur variasi kontrol hampir selalu lebih tinggi dari variasi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengomposan berjalan lebih lambat daripada variasi lainnya. Variasi kontrol ini mencapai temperatur kestabilannya pada hari ke 38 dengan temperatur 30°C . Hal ini menunjukkan bahwa penambahan lumpur tinja memberikan pengaruh dalam percepatan laju kematangan kompos. Variasi tercepat adalah variasi 2, 1, 3, 4, 5, dan terakhir variasi kontrol. Masing-masing dengan fase kematangan pada hari ke 28, 29, 30, 32, 34, dan 38.

Berdasarkan gambar 3 terlihat bahwa perubahan pH untuk keseluruhan variasi telah memenuhi pH optimum selama proses pengomposan. pH optimum untuk proses pengkomposan adalah 5 sampai dengan 8 (Wahyono, 2003). pH tumpukan kompos mengalami penurunan secara keseluruhan pada 2 minggu pertama, kemudian pH tumpukan kompos naik sampai dalam kisaran antara 7-7,2 dan selanjutnya turun menjadi sekitar 6,8-7,1 pada fase kematangan.



Gambar 3 Grafik Perubahan pH Tumpukan Kompos
Sumber : Data Primer, 2007

Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa hampir semua variasi tumpukan kompos mengalami penurunan pH pada awal proses pengomposan sehingga pH tumpukan menjadi lebih asam. Penurunan pH ini sejalan dengan kenaikan suhu, hal ini disebabkan pada awal pengomposan terjadi proses dekomposisi bahan-bahan organik yang kompleks dan bersifat reaktif menjadi asam organik sederhana. Setelah itu pada pH tumpukan mengalami kenaikan menuju pH netral yang memiliki kecenderungan sedikit basa. Kenaikan pH ini disebabkan karena aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan asam organik menjadi produk akhir. Kemudian pH kembali menuju ke pH netral kembali.

Berdasarkan gambar 4 grafik hubungan temperatur dan pH dapat dilihat bahwa pada proses pengomposan awal, pada dekomposisi bahan organik menjadi asam organik sederhana pH cenderung asam dan suhu naik. Kemudian pada fase pematangan pH mendekati pH normal dan suhu mendekati suhu lingkungan. Pada variasi 4 dan 5 pada awal pengomposan penurunan pH tidak diimbangi dengan kenaikan suhu. Hal ini disebabkan karena kurangnya bahan organik yang mampu menahan panas sehingga panas menguap. Setelah proses pengomposan selesai selanjutnya adalah analisa hasil kompos matang. Dari uji laboratorium, kemudian hasil tersebut dibandingkan dengan SNI 19-7030-2004.

Tabel 5 Karakteristik Kompos Matang

Variasi	pH	Suhu (°C)	C org (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Kadar air (%)
Kontrol	7.07	28.5	10.992	0.785	0.180	1.183	8.117
1	7.06	28.6	11.138	0.792	0.193	1.206	8.368
2	7.11	29.0	11.271	0.798	0.206	1.223	8.588
3	7.15	28.0	11.474	0.806	0.217	1.239	9.070
4	7.18	28.5	11.587	0.811	0.218	1.253	9.804
5	7.23	28.5	11.828	0.817	0.226	1.271	10.902

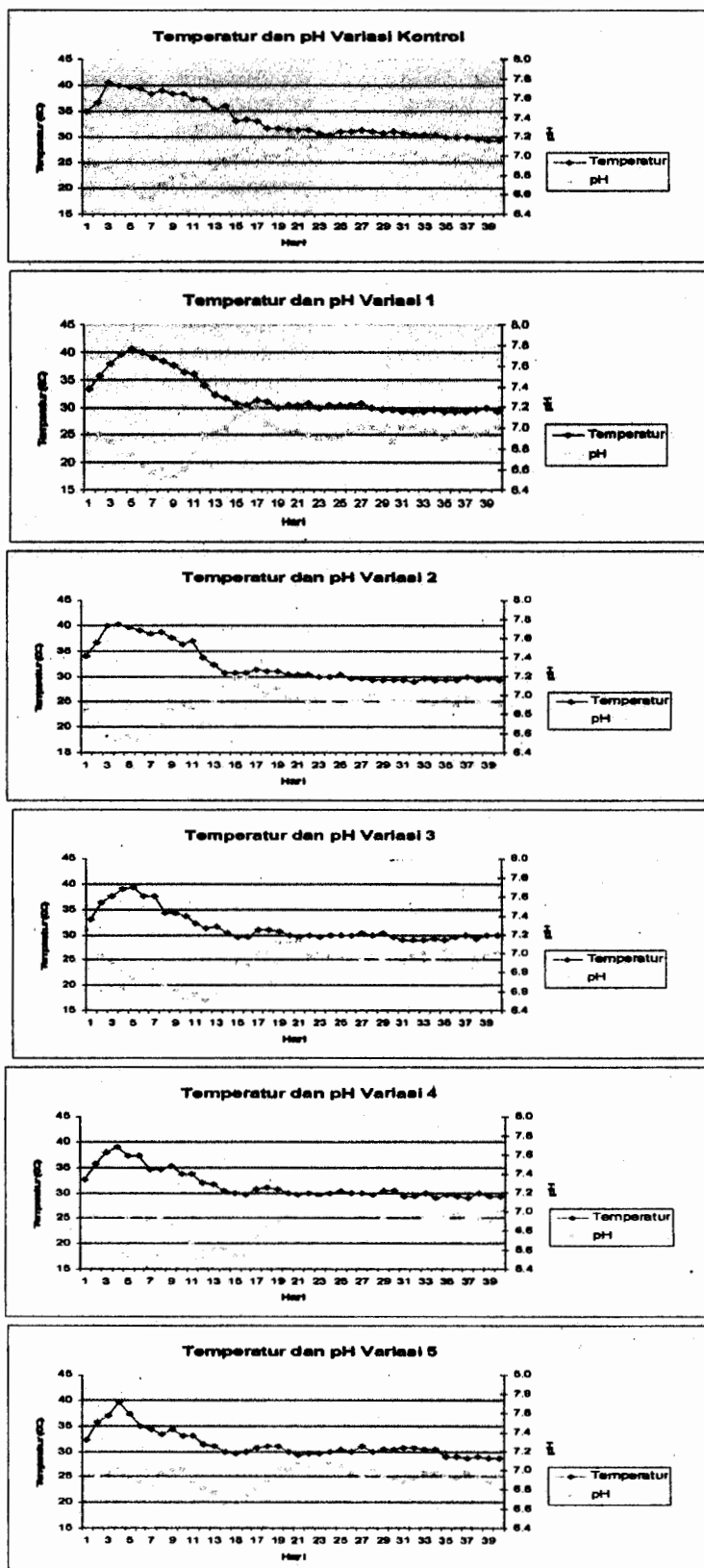
Sumber : Hasil analisis Laboratorium, 2007

Berdasarkan tabel 6 (SNI), maka kompos matang dari hasil penelitian telah sesuai. Hal ini berarti kompos yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik.

Tabel 6 Karakteristik Menurut SNI 19-7030-2004

Batas	pH	C/N	C org (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Kadar air (%)
Min.	6,80	10	9,8	0,40	0,10	0,20	-
Max.	7,49	20	32	-	-	-	50

Sumber : Hasil analisis Laboratorium, 2007



Gambar 4 Grafik hubungan Perubahan temperatur dan pH (Sumber : Data Primer, 2007)

Sementara itu perubahan berat yang terjadi dari awal pengomposan sampai menjadi kompos ditunjukkan pada tabel 7 Kompos disaring dengan lubang saringan 10 mm x 10 mm untuk menghasilkan kompos halus (kategori 1) (Wahyono, 2003)

Tabel 7 Perubahan Berat Kompos

Variasi	berat				
	awal (gram)	akhir (gram)	kompos halus (gram)	residu halus (gram)	reduksi (%)
K	10000	640	220	420	93.60
1	10000	700	450	250	93.00
2	10000	970	660	310	90.30
3	10000	1170	940	230	88.30
4	10000	1305	980	325	86.95
5	10000	1540	1150	390	84.60

Sumber : Hasil Analisa, 2008

Dari tabel diatas hasil kompos terbanyak adalah variasi 5 (sampah :lumpur tinja=1:1). Hal ini menunjukkan bahwa variasi 5 merupakan rasio pencampuran yang optimal. Berdasarkan tabel diatas reduksi bahan-bahan kompos cukup besar, apabila penelitian ini diterapkan tentunya sampah organik di TPA akan tereduksi cukup banyak.

Dari tabel 7, variasi 5 adalah variasi yang paling mendekati untuk kebutuhan nitrogen bagi tanaman. Kandungan nitrogen yang tinggi sangat baik bagi tanaman. Nitrogen adalah unsur yang dapat merangsang pertumbuhan tanaman secara keseluruhan, pembentukan zat hijau daun, membentuk protein, lemak dan berbagai persenyawaan organik lainnya. Kekurangan nitrogen bagi tanah akan menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi terhambat, jaringan akan mati, berbuah kerdil kuning (Lingga dan Marsono, 2003).

Tabel 8 Perbandingan Kompos Dengan Unsur Hara Tanaman

unsur	Kapasitas pada Tana man*	KUALITAS KOMPOS MATANG					
		K	1	2	3	4	5
% N	1,5	0.78	0.79	0.80	0.81	0.81	0.82
% P	0,2	0.18	0.19	0.21	0.22	0.22	0.23
% K	1	1.18	1.21	1.22	1.24	1.25	1.27
pH	6-8,5	7.07	7.06	7.11	7.15	7.18	7.23

*Sumber : Anonim dalam Wicaksono, 2007

Nilai P pada kompos penelitian untuk variasi 2, 3, 4, dan 5 lebih tinggi dibandingkan dengan unsur mikro pada tanaman. Sedangkan untuk variasi kontrol dan variasi 1 masih kurang untuk memenuhi kapasitas unsur hara pada tanaman. Unsur fosfor bagi tanaman berguna untuk merangsang pertumbuhan akar, sebagai bahan dasar untuk pembentukan protein tertentu, membantu asimilasi dan pernapasan, mempercepat pembungaan, pemasakan biji dan buah. Tanah yang kekurangan fosfor (P) akan membawa pengaruh yang buruk pada tanaman. Warna daun mengkilap merah ungu dan kemudian berubah menjadi kuning, berbuah kecil dan jelek (lingga dan Marsono, 2003).

Nilai K pada kompos penelitian jauh lebih tinggi dibandingkan unsur hara mikro pada tanaman. Akan tetapi hal tersebut tidak perlu dikhawatirkan karena tidak akan menyebabkan tanaman menjadi rusak atau terhambat pertumbuhannya. Fungsi Kalium adalah memperlancar fotosintesa, meningkatkan kualitas rasa dan warna dari buah maupun bunga dan meningkatkan pembentukan protein dan karbohidrat serta sumber kekuatan bagi tanaman untuk menghadapi kekeringan dan penyakit (Lingga dan Marsono, 2003).

pH kompos penelitian masih dalam rentang 6–8,5 sehingga kompos penelitian tidak memberi pengaruh buruk jika dipergunakan pada tanaman, karena tanaman membutuhkan pH yang netral.

Berdasarkan kebutuhan unsur hara tanaman, variasi 5 merupakan variasi yang paling mendekati kapasitas unsur hara tanaman. Dan yang paling jauh adalah variasi kontrol. Hal ini memberi arti bahwa penambahan lumpur tinja dapat memperbaiki kualitas unsur hara kompos.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

- 1) Kandungan C, N, P, K pada bahan dan pada kompos matang adalah sebagai berikut:
 - i. Pada sampah organik
C=33,72%, N=0,43%, P=0,68%, K=0,39%,
kadar air=63,82%, rasio
C/N=78,42%.
 - ii. Pada Lumpur tinja
C=28,980%, N=1,372%, P=0,875%,
K=0,638%, kadar air=16,744%,

SEWAGE SLUDGE GASIFICATION CASE STUDY IN RURAL INDIA

Sri Hapsari Budisulistiorini^{*)}

ABSTRACT

Gasification is emerging technology for converting biomass to combustible gas that can be used for heating or electricity generation. Various types of biomass can be used for gasification, including sewage sludge. Sewage sludge characteristic of high moisture content is reducing gasification efficiency. Pre-treatment processes, such as drying and pelletizing, are needed to reduce the moisture content. Throated downdraft gasifier is selected for processing sewage sludge considering the efficiency of converting char to gas and low ash production. Reactor diameter is 0.5 m at the gasification zone and 3 m in height. The overall thermal efficiency of the system is 66.30%. Technical barrier is mainly to monitor ash formation and maintain the emission of producer gas. Non-technical barrier is coming from the initial cost which quite expensive but still affordable for rural community.

Key words: sewage sludge, throated downdraft gasifier, pellet, drying

INTRODUCTION

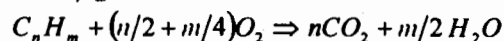
Gasification is emerging technology in particular for small scale system with the purpose of electricity and heating in some developing countries. Partial oxidation gets the main interest over the other processes since it can use pure oxygen as the oxidant and suitable for various feedstocks, solid, liquid, and gas. The producer gas, mainly consist of carbon monoxide, carbon dioxide, hydrogen, methane, and nitrogen gasses can be burned directly for space heating, used for driving gas turbine for electricity generation, or for drying material.

In India particularly, about 35 MW of total gasifier capacity has been installed in 2002 (REN21, 2006). Various feedstock such as sugar cane, leaf bagasse, and coal has been introduced for gasification in India (Jorapur and Rajvanshi, 1997), while no commercial application of sewage sludge gasification. Sewage sludge gasification technology is potential for renewable energy approach in the future since the sludge production is increasing. The growth is relating to the increasing of improved wastewater treatment facilities (Dubey et al., 2006).

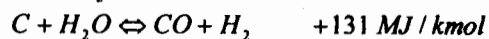
This paper is aiming to design a sewage sludge gasifier for heating purpose in India. The gasifier will have 200 kW heating capacity for 8 hours use per day. It is the followed by a discussion with regard to cost of design and barriers on the implementation of the design in India.

BIOMASS GASIFICATION

Gasification is a thermal conversion of biomass to produce combustible gas. The conversion occurs in an elevated temperature which reflects segments of the process, drying, pyrolysis, oxidation and reduction. Drying process is simply evaporation of moisture content in the biomass substrate. Pyrolysis is a thermal conversion of organic matters to produce primary char, oil, and primary gas. The primary gas is underwent an oxidation process where the substance is partially oxidized to form carbon dioxide and water, the following reaction formulae is describing the main oxidation process (BTG, 2004, Higman and Burgt, 2003):



The CO_2 and H_2O together with the primary char are then converted to producer gas which mainly consists of CO , H_2 , and CH_4 . The reactions occur in reduction zone are (Higman and Burgt, 2003):



The plus sign in the reaction indicates exothermic reaction where the process generates heat, whereas the minus

^{*)} Program Studi Teknik Lingkungan FT Undip
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang Semarang

sign shows endothermic reaction where the process requires heat. The scheme of all reactions that occur in gasification process is illustrated in Figure 1.

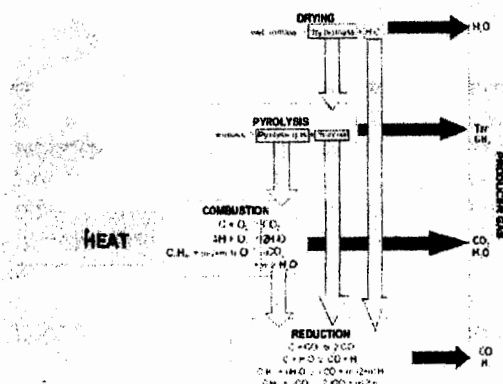


Figure 1 Scheme of gasification process: drying, pyrolysis, oxidation and reduction
Source: (BTG, 2004)

DESIGN OF SEWAGE SLUDGE GASIFIER

THEORY OF SEWAGE SLUDGE GASIFICATION

The gasification of sewage sludge can be determined as a series of chemical and thermal process where sludge goes through a complex physical and chemical change. The downdraft gasifier is selected because it produces tar-free gas as a result from the cracking of most of the tars by the pyrolysis gases that pass through hot char bed. Moreover Dogru et al (2002) asserts that the downdraft gasifier produces few ash, converts char efficiently, responsive to change in different load, and simple easy to build. The downdraft gasifier is illustrated in Figure 2.

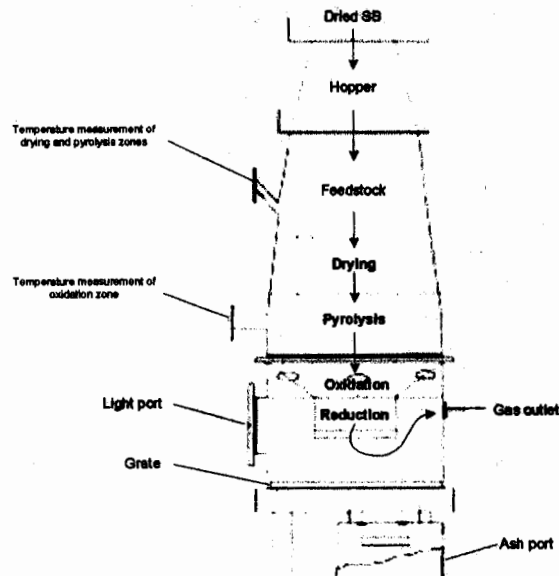


Figure 2 Schematic figures of sewage sludge gasification using downdraft gasifier
Source: modified from Dogru et al (2002)

Sewage sludge gasification runs firstly by drying up the sludge and then pyrolysed to produce condensable and non-condensable vapours and char. In the drying zone, moisture content in the substance is evaporated using the heat generated in the oxidation zone, about 70 – 200 °C. Dogru et al (2002) suggests that this zone can completely evaporate sewage sludge with 15% of moisture content. In the pyrolysis zone, the substance undergoes thermal decomposition using thermal energy (350 – 500 °C) from oxidation zone. Pyrolysis products are then gasified under oxidation reaction in the throat zone (oxidation zone) with temperature raise rapidly up to 1000 and 1100 °C, and followed by reduction reaction to generate producer gas at the reduction zone (Dogru et al., 2002). The producer gas leave the reduction zone with temperature about 700 °C, but leave the gasifier at temperature between 200 and 300 °C due to heat loss. For heating purpose the producer gas can be directly used in a gas burner since the appliances can run in gas. The flow diagram of sewage sludge gasification is illustrated in Figure 3.

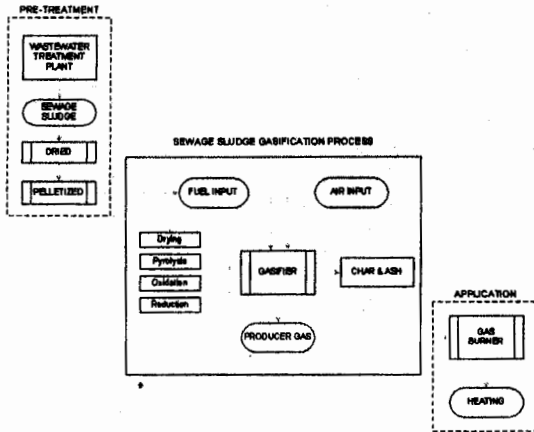


Figure 3 Flow diagram of gasification of sewage sludge

PRE-TREATMENT PROCESS FOR SEWAGE SLUDGE

Sewage sludge gasification requires pretreatment of the feedstock which mainly purpose to reduce water content. The pretreatment process involves drying where sludge is placed on drying beds and will remove 60% of water content (Böhnke, 1969). Other drying methods such as thermal drying can achieve 90% dried sludge but require energy up to 340 kWh (Hassebrauck and Ermel, 1996). It is not feasible for small scale gasification since the heat requirement for thermal drying may exceed the heat produced from the system. In addition, mechanical dewatering of sewage sludge, using belt press, centrifuge, filter press or diaphragm press, was reported for only reducing water content up to 50% (Novak, 2006). Therefore considering the cost and simplicity, conventional method of sewage sludge drying beds is the best option for application in rural area.

Dried sewage sludge with 60 to 65 % of dry solids content is pelletized to ease difficulties on handling and storage due low density of cake-fibrous material. Pelletizing plant should be located near to drying plant to reduce transportation and energy. The dried sludge is processed to form 3 to 5 mm in diameter of pellet (ESRU).

Pellet size 3.5 x 1 x 0.5 cm on average basis, which is equal to 1.5 cm of spherical diameter, is suggested by Dogru et al (2002) to suitable for downdraft gasification. The maximum particle size for feedstock to downdraft gasifier is one-eighth of the reactor diameter, as suggested by Earp (Dogru et al., 2002). Pellet size which will be used in

the gasification is designed to have maximum 5 mm in diameter.

SEWAGE SLUDGE CHARACTERISTICS

Sewage sludge main characteristic is high water content which is approximately 99wt% wet basis (Aye and Yamaguchi, 2006). For downdraft gasifier, the maximum moisture content of feedstock is 30% wet basis. The fuel, pelletized sewage sludge, has moisture content of 7.3% dry basis, thus it suitable for the type of reactor. However the high ash content is the main barrier for using this type of biomass. Physical characteristics of sewage sludge are presented in Table 1. Bulk density of the dried sewage sludge is 207.5 kg/m³. High bulk densities requires smaller reactor and make handling and storage easier. Ash content in the dried sludge is quite high and this is potential to hinder the gasification process. High ash content results in lower quality of producer gas and lower efficiency of gasifier.

Table 1 Physical characteristics, proximate, and ultimate analysis of dried sewage sludge

Parameter	Unit	Value
Physical properties		
Size	cm	3.5x1x0.5
Absolute density	kg/m ³	314.33
Bulk density	kg/m ³	207.5
Proximate analysis		
Volatiles	wt% (db)	83.4
Combustibles	wt% (raw)	50.6
Water	wt% (raw)	7.3
Ash	wt% (raw)	42.1
Ultimate analysis % dry basis		
Carbon	wt% (db)	50.5
Hydrogen	wt% (db)	6.6
Oxygen	wt% (db)	34.5
Sulfur	wt% (db)	1.2
Nitrogen	wt% (db)	7.1
Lower Heating Value (LHV)	MJ/kg (raw)	10.0

Source: (Dogru et al., 2002, Petersen and Werther, 2005)

DESIGN ASSUMPTION

According to Dogru et al (2002) the hot gas efficiency of sewage sludge gasification using throated downdraft gasifier is 63% to 81%. Milligan (1994) in Jayah (2002) suggests that the range of heat loss for downdraft gasifier is 6 to 16.6%. Thus for sewage sludge downdraft gasifier design, 85% of hot gas efficiency is selected with consideration of 15% heat loss from gasifier wall.

1.22 m. Reduction zone is designed twice that of throated zone, 45 cm. The throat angle affect the conversion efficiency wherein bigger angle results in smaller efficiency and vice versa (Jayah, 2002). It is also affecting bridging phenomenon where smaller angle will reduce the likely of bridging at the throat zone. For the design, 30° of throat's angle is selected to achieve the highest efficiency and avoid bridging.

Operating parameters	Unit	Value
Air Fuel Ratio	N m ³ /kg	2.28
Specific Gasification Rate	N m ³ /m ² h	497.74
Turndown ratio	%	94.15
Temperatures:		
Drying zone	°C	200
Pyrolysis zone	°C	500
Throat zone	°C	1100
Ambient temperature	°C	25
Pressure	Atm	1

The fuel consumption rate is important on designing the reactor. It is defined from design purpose, 200 kW heating capacity for 8 hours per day usage. From calculation, the fuel consumption rate for sewage sludge downdraft gasification is 85 kg per hour or 678 kg per day. The approximate volume of palletized sewage sludge required is 0.41 m³ per hour or 3.3 m³ per day. Detail of calculation is presented in appendix A.

The diagram illustrates a fluidized bed gasifier with the following components and dimensions:

- Pelletized SS:** 6 mm diameter feed at the top.
- Buffer zone:** 1220 mm diameter, 500 mm height.
- Drying zone:** 500 mm diameter, 930 mm height.
- Pyrolysis zone:** 500 mm diameter, 1200 mm height.
- Gasification zone:** 150 mm diameter, 220 mm height.
- Producer Gas:** Exit at the bottom.
- Air:** Inlet at the bottom.
- Total Height:** 3000 mm.

Material for constructing the reactor is aluminosilicate which can withstand in temperature up to 1500 °C. Perry (1973) asserts that compared to firebrick, aluminosilicate insulation demonstrate a better performance in durability and heat flow resistance (SERI, 1988). The suggested thickness of cylindrical gasifier ranges from 2 to 5 cm and additional ceramic mold to shape the corner of reactor. Auxiliary appliances such as air intake pipe that is not requiring high heat resistance, can utilize PVC pipes. Outlet gas pipe requires high heat resistance, thus it should use steel or aluminosilicate.

ESTIMATED COST

The cost of using sewage sludge is assumed as free but the initial cost of Lalletizing sewage sludge is assumed 35%

of gasifier cost. Initial cost of gasifier is US\$23,000 (Jayah, 2002), thus the cost of drying and palletizing sewage sludge is US\$ 8,050. In total energy cost is US\$31,050 or equal to Rs 1,270,000. According to Aye (2007) cost of gasifier for heating purpose is AU\$25-75 kW. Therefore cost of 200 kW_{th} from sewage sludge throated downdraft gasifier is AU\$5,000 – \$15,000 or approximately equal to Rs 170,000 – Rs 508,000.

Using case study of gasifier operation in Ideal Crumb, Kerala, the operational and maintenance and labour costs of gasification process are designed Rs 0.1/kg/h and Rs 0.15/kg/h respectively (Dasappa et al., 2004).

Price of thermal energy is assumed Rs 1 to Rs 2 per kWh. The price is still affordable for rural population. Interest rate of more than a year is 8%, according to Bank Baroda India. If the thermal energy from gasifier can supply 50 houses in rural area, it is predicted that the benefit from the system will doubling in 20 years. Detail calculation of benefit cost ratio of the designed system is presented in Appendix A.

APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE GASIFICATION CASE STUDY OF INDIA

Seasonal weather of India is highly influenced by the Himalaya which isolates the land from the rest of Asia continent. Climate in this country is highly diverse but it can be classified into four seasons in a year: winter (January to February), hot weather summer (March to May), rainy south western monsoon (June to September), and post-monsoon known as northeast monsoon in the southern Peninsula (October to December).

India is ranked as the second largest country in the world with more than 70% of population live in rural area and considered as one of the fastest growing countries of the world through its agriculture, tourism, commerce, power, communications, science and technology. However, the unemployment rate is quite significant, 9.1% as of September 2005 and during 1999 to 2000, 26.1% of population under poverty line. The gross domestic product as per September 2005 accounted for US\$ 543 per capita and IMF reported that five states were classified as poor state (Purfield, 2006). With regard to population, rural area accounted for

approximately 290 million or more than a quarter of total population (Census of India). Concerning sewage sludge generation, sewage sludge treatment plant in urban area can produce about 37,000 kg of sludge in a year. Therefore feedstock supply can be accessed from the urban area.

TECHNICAL AND NON-TECHNICAL BARRIERS

Technical barrier for installing sewage sludge gasification is mainly the high formation of ash due to fuel characteristics. Ash is useful for protecting the grate from high temperature, but excessive amount of ash will require regular maintenance. Another concern is excessive or fugitive emission of NO_x and CO from producer gas. Gas treatment is required if it use as fuel for electricity generation since the sensibility of the system. On the contrary the heating appliances can work with impurities gas. Nevertheless, preventive action such as locating the gasifier in the outside is agreeable. Lack of knowledge from the operators is also a barrier. This may lead to faulty in system and damage on the equipment.

Installing this system in India area is possible but the initial cost is quite high. Hence it needs funding from the government. Regarding government support, some projects were initiated by some departments to construct biomass gasifier in the entire country. The program is entitled National Biomass Gasifier Programme (NBGP). This program is aiming to build up to 16 GW biomass gasifier for thermal, mechanical, power, and industrial purposes. However sewage sludge is not included in the proposed feedstock. Sewage sludge gasification is still need to proof the capability and feasibility to be implemented in larger scale. Solution for initial investment of the system would be fund gathered from the residents. By investing to the system, residents or consumers will have benefit from the thermal energy generated and the knowledge and technology used in the system. People might maintain the system carefully and get knowledge from that.

CONCLUSION

Design selected for sewage sludge gasification is throated downdraft gasifier by

considering the less tar production and ash, effectively convert char, and easy to build. Feedstock for the system is pelletized sewage sludge with 5 mm in diameter to achieve optimum combustion in the oxidation zone. Fuel consumption rate of the system is 85 kg/h and the overall thermal efficiency of the system is 66.30%. Reactor is designed with 0.5 m in diameter of throated area and 3 m in overall height. Height of throated zone is 22 cm as recommended for the optimum gasification process with highest conversion of fuel to gas.

Technically the system produces ash and tar which need regular maintenance. Tar contain in the producer gas is not necessary to remove since the purpose of the design is for heating.

Considering the availability of feedstock sewage sludge gasification system is feasible to be installed in rural area of India. On the other hand sewage sludge is not likely to be selected for biomass fuel since it requires energy intensive pre-treatment to reduce its water content. Moreover the lack of knowledge from the rural people may hinder the development of this technology.

REFERENCES

- Aye, L. and Yamaguchi, D. (2006) In *Energy and Power Systems*
- Böhnke, B. (1969) *Aquatic Sciences - Research Across Boundaries*, 608-614
- BTG (2004) Biomass Technology Group, <http://www.btgworld.com/technologies/gasification.html>
- Census of India Census of India, <http://www.censusindia.net/results/rurdist.html>
- Dasappa, S., Paul, P. J., Mukunda, H. S., Rajan, N. K. S., Sridhar, G. and Sridhar, H. V. (2004) *Current Science*,
- Dogru, M., Midilli, A. and Howarth, C. R. (2002) *Fuel Processing Technology*, 55-82
- Dubey, S. K., Yadav, R. K., Joshi, P. K., Chaturvedi, R. K., Goyal, B., Yadav, R. and Minhas, P. S. (2006) In *18th World Congress of Soil Science* Philadelphia, Pennsylvania <http://crops.confex.com/crops/wc2006/techprogram/P12698.HTM>
- ESRU The Energy Systems Research Unit, University of Strathclyde, Glasgow, http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/97-8/energy_from_waste/page6.htm
- FAO (1986) *Wood gas as engine fuel*, Forest Industries Divisions, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Hassebrauck, M. and Ermel, G. (1996) *International Water Association Publishing - IWAP*, 235-242
- Higman, C. and Burgt, M. v. d. (2003) *Gasification*, Elsevier Science (USA).
- Jayah, T. H. (2002) In *Department of Civil and Environmental Engineering* The University of Melbourne, Melbourne
- Jorapur, R. and Rajvanshi, A. K. (1997) *Biomass and Bioenergy*, 141-146
- Novak, J. T. (2006) *Drying Technology*, 1257-1262 <http://www.informaworld.com/10.1080/07373930600840419>
- Petersen, I. and Werther, J. (2005) *Chemical Engineering and Processing*, 717-736 <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6TFH-4DHX6R7-2/2/be35ab329d6e43cc6d0f0f146680c6b0>
- Purfield, C. (2006) International Monetary Fund, www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2006/wp06103.pdf
- REN21 (2006) Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, [http://qsr.ren21.net/index.php?title=GSR_2005_Rural_\(Off-Grid\)_Renewable_Energy#Electricity_2C_Heat_2C_and_Motive_Power:_Biomass_Gasification](http://qsr.ren21.net/index.php?title=GSR_2005_Rural_(Off-Grid)_Renewable_Energy#Electricity_2C_Heat_2C_and_Motive_Power:_Biomass_Gasification)
- SERI (1988) *Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems*, Solar Technical Information Program, Solar Energy Research Institute, US Department of Energy.
- Smeenk, J. and Brown, R. C. <http://www.cvrtd.org/images/4Image5.gif>
- Tavoulareas, E. S. and Charpentier, J.-P. (1995) World Bank, <http://www.worldbank.org/html/fpd/em/power/EA/mitigatn/igccctech.gif>

PENURUNAN KONSENTRASI LOGAM BERAT CU DAN AG PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI PERAK RUMAH TANGGA DENGAN METODE ELEKTROKOAGULASI

Mochtar hadiwiidodo^{*)}

ABSTRACT

Silver home industry is one of government asset which involved with tourism sector and specific product from Daerah Istimewa Yogyakarta. Recently silver home industry is increasing but the liquid waste effect become a new problem that need to be treated because contains heavy metal of Cu^{2+} and Ag^+ . The experimental used electro coagulation method with voltatation (3 Amp, 4 Amp, 5 Amp) and time variations (30, 60, 90, 120, 150, 180 seconds) as the free variable and heavy metal Cu^{2+} and Ag^+ concentration of silver pure processing as dependent variable. The result shown that the electro coagulation method can reduce concentration of heavy metal Cu up to 99.97% and Ag up to 99.84%.

Key words: *electro coagulation, Cu, Ag, Daerah Istimewa Yogyakarta, silver home industry*

PENDAHULUAN

Industri perak rumah tangga di Yogyakarta adalah peninggalan kebudayaan dari kota Gede selama berabad-abad. Bersama dengan meningkatnya sector pariwisata, industri perak pun meningkat berdasarkan kebutuhan turis-turis yang datang ke Yogyakarta.

Limbah menjadi masalah serius yang timbul masyarakat dan bagi pemerintah Indonesia. Khususnya limbah industri yang makin meningkat dan menyebabkan polusi (Damono, 2001).

Meningkatnya industri perak selain memberi dampak positif bagi masyarakat namun juga dampak negatif yang dapat merusak lingkungan dari limbah yang dihasilkan pada proses penjernihan perak. Limbah merupakan cairan berbahaya karena mengandung logam berat Cu^{2+} dan Ag^+ pada konsentrasi tinggi. Maka tanpa adanya tindakan pencegahan dapat membahayakan lingkungan. Limbah cair dapat ditimbulkan dari kegiatan rumah tangga, industri, masyarakat dan air buangan lain yang mengandung bahan organik, anorganik dan logam, sehingga dapat menurunkan kualitas lingkungan dan kelangsungan hidup manusia. (Sugiharto, 1987).

Logam berat memiliki karakteristik zat berbahaya yang dapat menurunkan kualitas lingkungan terutama bagi faktor pendukung lingkungan yang penting bagi makhluk hidup. Menurut Astuti (1987) dalam Prihastanti (1994) menyatakan kadar racun dan bahaya suatu limbah dalam jumlah tertentu dapat menimbulkan bahaya dan meracuni ekosistem dan terutama manusia.

Djuaningsih et al., (1982) menyatakan bahwa ada dua penyebab utama mengapalogam berat termasuk limbah berbahaya, yaitu karena logam berat tidak dapat dihancurkan oleh mikro organisme dalam lingkungan serta dapat terakumulasi dalam komponen lingkungan. Hutagalung (1991) mengatakan bahwa kandungan logam berat di laut adalah $10^{-5} - 10^{-2}$ ppm, dan akan meningkat bila limbah yang masuk mengandung logam berat yang mengendap di laut.

Keberadaan industri yang menghasilkan limbah cair dari penjernihan perak berdasarkan pengujian menunjukkan kandungan Cu sebesar 1362,875 mg/l dan Ag 1,0002 mg/l (Widiastuti et al., 2002).

Berdasarkan keputusan Gubernur Yogyakarta No. 28/kpts/1998, limbah cair yang dihasilkan dari industri penjernihan perak telah melampaui batas, dimana Cu maksimal adalah 2 mg/l dan untuk Ag^+ berdasarkan PERMENKES 416/Menteri

^{*)} Program Studi Teknik Lingkungan FT Undip
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang Semarang

Kesehatan/ Per/ IX/ 1990 adalah 0,0005mg/l. Karena resiko dan bahayanya yang besar maka kita perlu mengambil tindakan preventif awal dengan kontrol lingkungan, karena tingginya limbah industri tersebut yang mengandung logam berat dengan sifat racun dan bahaya. Untuk itu penulis bermaksud menurunkan kandungan logam berat yaitu Cu^{2+} dan Ag^+ pada limbah cair yang dihasilkan dalam proses penjernihan perak dengan metode Elektrokoagulasi.

METODE DAN BAHAN

Bahan Penelitian

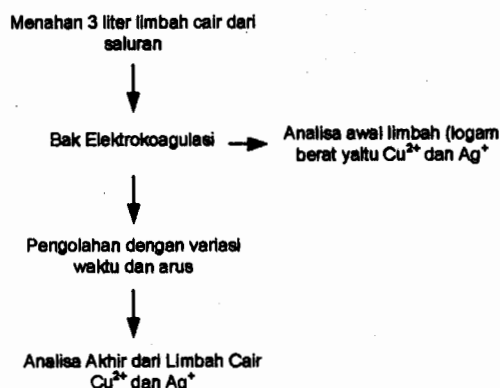
Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair dari proses penjernihan perak yang mengandung ion Cu^{2+} dan Ag^+ , peralatan elektrokoagulasi, *Intercepted Vessel* dan AAS. Sampel limbah cair diambil dari limbah industri perak rumah tangga yang terdapat di Gedungkiwo Desa Mantrijeron Yogyakarta.

Bahan pendukung yaitu material dan bahan kimia untuk menganalisa kandungan logam berat dari limbah cair pada penjernihan perak.

Metode

Metode eksperimen yang digunakan memerlukan percobaan pre test dan post tes dengan desain kontrol tertentu, variabel bebas dari arus listrik (3,4,5 amper) sedangkan variasi waktu 30, 60, 90, 120, 150 dan 180 menit. Adapun variabel terikatnya adalah kandungan logam berat Cu^{2+} dan Ag^+ dari limbah cair pada proses penjernihan perak.

Pengambilan sampel dilakukan berdasarkan pengulangan sampel untuk menentukan ketepatan dari beberapa sampel yang ditetapkan. Skema proses penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Skema Penelitian

ANALISA DATA

Untuk menganalisa Cu^{2+} dan Ag^+ dari limbah cair maka digunakan metode AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry). Kemudian kandungan Cu^{2+} dan Ag^+ yang melekat pada masing-masing elektroda dihitung dengan menggunakan persamaan Faraday :

$$W = e.i.t/F$$

Dimana:

W= massa

e = berat atom

i = arus listrik (Amper)

t = waktu

F = ketetapan Faraday

(1F = 96.500 coulomb)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh dari variasi arus listrik dan waktu terhadap penurunan kandungan logam berat Cu^{2+} dan Ag^+ dalam limbah cair penjernihan perak dapat dilihat dalam tabel .

Tabel 1 Variasi arus listrik dan waktu terhadap penurunan kandungan logam berat (mg/l) Cu^{2+} dan Ag^+ dalam limbah cair penjernihan perak

Logam	Arus Listrik (Amp)	Waktu (Menit)						
		0	30	60	90	120	150	180
Cu^{2+}	3	1104.38	817.13	520.84	229.19	229.19	0.894	0.008
	4	1104.38	717.38	326.92	49.58	49.58	0.008	0.008
	5	1104.38	677.31	249.72	13.12	13.12	0.008	0.008
Ag^+	3	1.283	0.857	0.599	0.419	0.419	0.002	0.002
	4	1.283	0.731	0.512	0.358	0.358	0.002	0.002
	5	1.283	0.627	0.416	0.416	0.154	0.002	0.002

Tabel 1 menunjukkan bahwa waktu dan arus listrik berpengaruh terhadap penurunan kandungan Cu^{2+} dan Ag^+ . Semakin lama waktu kontak dan makin besar arus listrik maka makin menurun pula kandungan Cu^{2+} dan Ag^+ .

Cu^{2+} yang terkandung dalam limbah cair industri penjemihan perak dengan menggunakan pengolahan elektrokoagulasi dapat mengurangi kadar Cu^{2+} paling tinggi sejumlah 1103,803 mg/l yang menempel pada elektroda adalah pada pengolahan dengan menggunakan arus listrik 4 ampere dan waktu kontak 120 menit (table 2) dengan efisiensi penurunan hingga 99,47% (table 3).

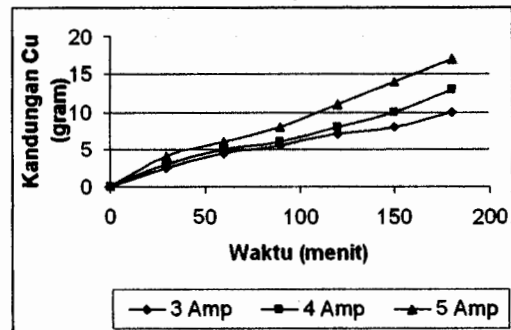
Tabel 2 Konsentrasi (mg/l) Cu^{2+} dan Ag^+ yang dapat direduksi menggunakan elektroda dengan variasi waktu dan arus listrik

Logam	Waktu (menit)	3 Amp	4 Amp	5 Amp
Cu^{2+}	0	0	0	0
	30	287.725	387	427.07
	60	583.543	777.46	854.066
	90	875.199	1054.8	1091.026
	120	1087.068	1103.8	1104.365
	150	1103.068	1104.8	1104.372
	180	1104.372	1104.37	1107.372
Ag^+	0	0	0	0
	30	0.426	0.552	0.656
	60	0.684	0.771	0.867
	90	0.864	0.925	1.129
	120	1.124	1.182	1.281
	150	1.281	1.281	1.281
	180	1.281	1.281	1.281

Penurunan dari kandungan Cu^{2+} adalah karena adanya reduksi oksidasi dalam proses elektrokoagulasi menggunakan pelat elektroda aluminium dengan memberikan aliran listrik searah (Sukardjo, 1997), sehingga ion Cu^{2+} dapat tertarik ke anoda. Elektroda berfungsi sebagai pengatur arus listrik dalam larutan yang menyebabkan limbah cair dengan kandungan Cu^{2+} akan terdorong oleh pergerakan elektroda sehingga pada akhirnya melekat pada elektroda sesuai dengan muatannya, hal ini membuat ion-ion dalam limbah cair yang berkurang oleh

kandungan Cu^{2+} . Berdasarkan Sawyer dan Mc Carty (1978), bila pada larutan elektrolit terdapat dua elektroda dan diberi arus searah, pergerakan elektrolisis akan terjadi dimana ion bermuatan positif akan bergerak ke katoda untuk dikurangi, dan ion negatif bergerak ke anoda untuk teroksidasi sehingga kandungan Cu^{2+} dapat menurun.

Pada elektrolisis, arus listrik dihasilkan dari adanya ion positif dan negatif serta arus listrik yang disebabkan adanya medan listrik. Bila arus listrik ditambahkan, maka muatan positif akan bergerak searah dengan medan listrik, sehingga arus listrik yang dihasilkan dari proses tersebut akan memiliki arah yang sama dengan medan listrik (Reitz, et al, 1993). Dalam hukum Faraday semakin tinggi arus dan semakin lama waktu yang digunakan, maka Cu^{2+} yang tereduksi semakin besar (Sukardjo, 1997). Pada kasus ini, limbah cair dari industri perak telah menurunkan kandungan Cu^{2+} sebanyak 9,483 gram (gambar 2) yang disebabkan oleh massa inti yang timbul karena reaksi kimia pada elektroda sebanding dengan jumlah listrik yang melewati larutan selama proses elektrolisis.



Gambar 2 Kandungan logam berat Cu^{2+} yang menempel pada elektroda dalam persamaan Faraday.

Waktu yang efektif dan efisien untuk mengurangi kandungan Cu^{2+} adalah 120 menit, dimana limbah cair setelah pengolahan dengan metode elektrokoagulasi, sehingga kandungan logam berat Cu^{2+} kurang dari 2 mg/l sehingga memenuhi baku mutu ...menurut Sukardjo (1997), salah satu faktor yang mempengaruhi kandungan Cu^{2+} adalah reaksi pada lempengan elektroda dan waktu kontak dengan alat elektrokoagulasi. Waktu kontak pada elektrolisis dengan elektroda

dalam elektrokoagulasi akan mempengaruhi kandungan Cu^{2+} , makin lama waktu kontak semakin lama pula waktu untuk elektrolit bereaksi dengan elektroda sehingga akan mempengaruhi efisiensi penurunan kandungan Cu^{2+} . Kekuatan elektroda untuk mereduksi elektroda dibatasi, meskipun waktu kontak ditingkatkan, namun reaksi antara elektroda dan elektrolit akan mencapai ambang batas dalam penurunan ion Cu^{2+} , kita dapat mencapai hasil konstant atau jumlah tetap. Kusumaningrum (2001) dalam Darmono (2001), mengatakan bahwa waktu efektif yang digunakan untuk penurunan Cu^{2+} dari 5,10 mg/l menjadi 0,02 mg/l membutuhkan waktu selama 60 menit dan mencapai hasil akhir sebesar 99,6%. Furnes, et. al., (1990) menyatakan bahwa penurunan Cu^{2+} dalam limbah cair pada penjernihan emas sebesar 89,25% dengan kandungan Cu^{2+} awal sebesar 1268 mg/l menjadi 0,00136 mg/l.

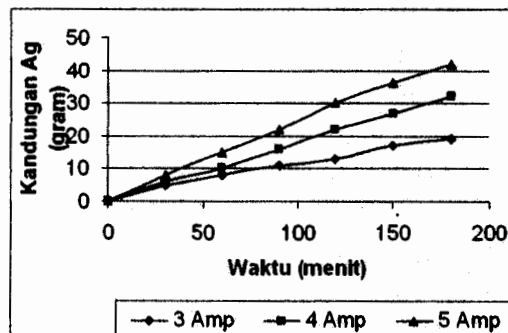
Tabel 3. Persentase efisiensi penurunan logam berat Cu^{2+} dan Ag^+ dengan berbagai variasi waktu dan arus listrik, menggunakan perlengkapan elektrokoagulasi.

Logam	Waktu (menit)	3 Amp	4 Amp	5 Amp
Cu^{2+}	0	0	0	0
	30	26.013	35.042	38.67
	60	52.834	70.398	77.365
	90	79.247	95.51	98.812
	120	98.432	99.947	99.999
	150	99.922	99.999	99.999
	180	99.999	99.999	99.999
Ag^+	0	0	0	0
	30	33.203	43.024	60.24
	60	53.205	60.094	67.576
	90	67.342	72.097	87.997
	120	87.607	99.844	99.844
	150	99.844	99.844	99.844
	180	99.844	99.844	99.844

Kandungan logam berat Ag^+ dari sisa penjernihan (tabel 1) sejumlah 1,283 mg/l dengan kontrol pengolahan atau tanpa elektrokoagulasi masih melebihi baku mutu Menteri Kesehatan No. 416/ Menteri Kesehatan/ Per/ IX/ 1990 dengan nilai kapasitas maksimal 0,05 mg/l. Variasi waktu dan arus listrik dengan alat elektrokoagulasi dapat menurunkan kandungan Cu^{2+}

sebanding dengan waktu dan arus. Tabel 1 menunjukkan dari semakin lamanya waktu dan tingginya arus listrik dapat menurunkan kandungan Ag^+ dari 1,283 mg/l menjadi 0,0002 mg/l dengan efisiensi 99,84% (tabel 3). Hal ini disebabkan adanya pengurangan buangan oksidasi yang berlangsung pada alat elektrolisis dengan komponen elektrokoagulasi menggunakan Al^+ pada lempeng elektroda dan diberi arus searah (Sukardjo, 1997).

Elektroda adalah suatu alat untuk memicu aliran listrik dalam larutan, sehingga mendorong senyawa Ag^+ dalam larutan limbah cair ke arah elektroda dengan muatan yang sesuai sehingga ion dalam larutan yang bersifat polutan dapat tereduksi. Menurut Johanes (1978), bila dalam larutan elektrolit terdapat dua elektroda dengan arus searah maka akan terjadi proses elektrolisis dimana ion positif berpindah ke katoda untuk tereduksi dan ion negatif bergerak ke anoda untuk teroksidasi. Hal ini dapat menurunkan kandungan Ag^+ dan menggunakan hukum Faraday dapat diketahui penurunan Ag^+ dalam limbah cair sebesar 40,252 g (gambar 3). Sawyer dan Mc Carty (1978), menyatakan bahwa dalam hukum Faraday makin tinggi arus listrik dan makin lama waktu kontak dengan limbah, maka ion Ag^+ yang terikat pada elektrodanya semakin banyak. Ini disebabkan karena inti massa yang timbul karena adanya reaksi kimia di elektroda sebanding dengan besarnya listrik yang melewati larutan selama proses elektrolisis.



Gambar 3. Kandungan logam berat Ag^+ yang menempel pada elektroda dan dihitung dengan persamaan Faraday.

Hasil menunjukkan waktu yang paling efektif dan efisien untuk mereduksi Ag^+ yang terkandung dalam limbah cair

proses penjernihan perak adalah 120 menit dengan kuat arus 4 ampere. Hal ini sangat dipengaruhi waktu kontak yang terjadi antara ion logam dan alat elektrokoagulasi di dalam larutan limbah penjernihan perak. Berdasarkan Sukardjo (1997), salah satu faktor yang mempengaruhi proses reaksi adalah waktu kontak dimana semakin lama waktu kontak dengan limbah cair akan mempengaruhi keefisienan penurunan logam berat Ag^+ (tabel 2).

Menurut Anshori (1988), elektrolisis menggunakan elektrokoagulasi Ag^+ akan menghasilkan reaksi elektrokoagulasi yang berlangsung terus menerus, sehingga jumlah elektroda akhirnya akan habis. Faktor yang mempengaruhi reaksi elektrolisis antara lain elektroda, luas permukaan, kondisi permukaan, jarak antar elektroda, konsentrasi, arus listrik, potensial listrik, jumlah muatan dan waktu.

Edition. McGraw-Hill Book Co. New York-London-Tokyo-Toronto

Sugiarto, 1987, Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah, UI Press. Jakarta

Sukarjo, 1997. Kimia Fisika, PT Rineka Cipta Jakarta

Gabriel, J.F. 2001, Fisika Lingkungan, Penerbit Hipokrates. Jakarta

Widiastuti, H.N. C.R. Anggraini, 2002. Pengolahan Limbah Cair Industri Emas dengan Metode Elektrokoagulasi dengan Variasi Waktu dan Kuat Arus, Lap. Penelitian PPLH-UNDIP Semarang.

KESIMPULAN

1. Tingginya kandungan logam berat Cu^{2+} dapat direduksi dengan menggunakan alat elektrokoagulasi sejumlah 1103,802 mg/l dengan waktu 120 menit dan kuat arus 4 ampere dengan efisiensi penyisihan sebesar 99,94%.
2. Tingginya kandungan logam berat Cu^{2+} dapat direduksi dengan menggunakan alat elektrokoagulasi sejumlah 1,281 mg/l dengan waktu 120 menit dan kuat arus 4 ampere dengan efisiensi penyisihan sebesar 99,84%.
3. Metode elektrokoagulasi dapat menurunkan Cu^{2+} hingga konsentrasi 0,53 mg/l dan Ag^+ 0,0002 mg/l, sehingga memenuhi baku mutu yang ditetapkan oleh Gubernur Yogyakarta No. 281/ kps/ 1998 dimana Cu^+ yang diijinkan adalah 2 mg/l dan berdasarkan baku mutu yang ditetapkan Pemerintah No. 416/ Menteri Lingkungan Hidup/ Per/ IX/ 1970 dimana Ag^+ maksimum sebesar 0,005 mg/l.

DAFTAR PUSTAKA

- Reitz, R., Jogn, J., Frederick and R.W. Cristy, 1993 Dasar Teori Listrik Magnet, ITB Bandung
- Sawyer and P.L., McCarty, 1978 Chemistry For Enviromental Engineering. Third

ASPEK SOSIAL PENGELOLAAN SANITASI DI PELABUHAN (STUDI KASUS: PENGELOLAAN SANITASI DI PELABUHAN TANJUNG INTAN CILACAP)

Maryono^{*)}, Yusus Jayusman

ABSTRACT

Domestic port sanitation has to be evaluated completely with three aspects i.e technical aspect such as facility of sanitary importance that are cleanliness and sanitary code; social aspect such as cultural, social and economics; and administration and management aspect i.e implementation of management functions. TANJUNG INTAN port is domestic port that serves interisland passenger, and also loading and unloading goods. Implementation of port sanitation is intended as preventing incidence of disease. Further analyzed focussed on implementation of sanitation activity in building of passenger terminal, based on observation which was conducted at June 2007. In social aspect, better cooperation between top level management, port employees and consumer or public society are needed, to create healthy port environment. Furthermore, to reach the best result needs cooperation with other sectors for example commerce and communication sectors.

Keywords: Domestic port, sanitation, management, social aspect

PENDAHULUAN

Mengelola Sanitasi di Tempat-Tempat Umum (STTU) seperti Terminal, Bandar Udara, Pelabuhan, menjadi penting untuk diperhatikan. Hal ini tidak saja bertujuan untuk menjaga kesehatan, tetapi juga dalam rangka menciptakan kenyamanan. Dalam prakteknya usaha ini seringkali tidak dapat dilaksanakan dengan baik. Hal ini disebabkan karena pengelolaan sanitasi di tempat tempat tersebut mengandung konsekuensi hubungan institusional antara otoritas pelabuhan, operator pelabuhan, departemen Perhubungan, Departement Pekerjaan umum.

Tulisan ini akan mengkaji kegiatan STTU secara lengkap yang ditinjau melalui tiga aspek pendekatan yaitu aspek teknis yang meliputi persyaratan dan peraturan mengenai Tempat Umum tersebut dan keterkaitan Tempat Umum tersebut dengan fasilitas sanitasi dasar, aspek sosial diantaranya adalah ekonomi dan sosial budaya, dan aspek administrasi dan manajemen diantaranya adalah pelaksanaan fungsi manajemen yang dilakukan oleh masing-masing stakeholder.

Fungsi pelabuhan pada era otomotif daerah ini tidak sekedar sebagai tempat pembatasan kapal, namun Pelabuhan TANJUNG INTAN berubah fungsi sebagai salah satu sektor industri yang diharapkan dapat meningkatkan pendapatan bagi daerah. Oleh karena itu fungsi pelabuhan dalam perspektif meningkatkan PAD seringkali mengesampingkan kenyamanan dan fungsi lainnya dari pelabuhan itu sendiri.

Kabupaten Cilacap memiliki pelabuhan domestik dengan nama Pelabuhan TANJUNG INTAN. Pelabuhan ini melayani angkutan penumpang dan juga bongkar muat barang. Barang yang di bongkar muat termasuk hasil pertambangan misalnya minyak bumi, batu bara dan hasil pertanian alam. Mengingat pelabuhan merupakan salah satu tempat keluar masuk manusia ataupun barang sehingga kegiatan STTU di Pelabuhan ini perlu dilaksanakan secara baik untuk mencegah penyakit dan meningkatkan kenyamanan.

Telaah selanjutnya akan ditinjau mengenai pelaksanaan STTU melalui observasi lapangan yang dilakukan pada bulan Juni 2007. Sebagai pelabuhan yang melayani

penyeberangan penumpang dan barang, lokasi pelabuhan cukup strategis yaitu. Sebagai pelabuhan yang melayani bongkar muat barang, penataan di pelabuhan untuk kegiatan bongkar muat tertata rapi. Tempat parkir kendaraan bongkar muat yang sebagian besar adalah truk tertata rapi sehingga tidak ada keruutan lalu lintas di pelabuhan.

TINJAUAN UMUM SARANA SANITASI DI PELABUHAN TANJUNG INTAN

Fasilitas Sanitasi Terminal Penumpang yaitu Air Bersih mengambil sumber dari dari PDAM daerah. Terdapat tandon khusus untuk persediaan air bersih. Air bersih disalurkan dengan sistem perpipaan dan berjalan dengan baik. Kontinuitas suplai air bersih khusus untuk terminal penumpang dilakukan pada saat – saat ada penumpang baik pada saat kedatangan atau pemberangkatan. Sehingga secara kuantitas, air bersih ini hanya dikhususkan untuk melayani penumpang saja dan dari segi kontinuitas menjadi kurang memadai, mengingat air bersih cukup lancar dan jumlahnya cukup hanya bila waktu keberangkatan atau kedatangan. Hal ini mungkin terkait pada usaha penghematan air bersih.

Fasilitas Pembuangan Air Limbah merupakan fasilitas untuk mengelola air Air limbah yang berasal dari kamar mandi, tempat cuci tangan dan tempat wudlu dialirkan pada saluran terbuka yang dihubungkan dengan sistem penyaluran air limbah pelabuhan. Sedangkan air limbah yang berasal dari WC disalurkan ke septic tank. Pembuangan air limbah di Indonesia memang pada umumnya disatukan dengan saluran drainase dan akhirnya terhubung pada saluran air limbah dan drainase pelabuhan. Alangkah baiknya apabila saluran tersebut dibuat semi tertutup, setidaknya saluran yang berasal dari air kamar mandi, sehingga tidak mengganggu estetika dan menimbulkan bau.

Fasilitas Kamar Mandi/WC, Tempat Cuci Tangan dan Tempat Wudlu Jumlah kamar mandi/WC ada 2 buah, tanpa pemisahan untuk laki-laki atau perempuan. Kamar mandi/WC untuk penumpang dan pegawai pelabuhan tidak dipisahkan. Dalam kaitan

kegiatan bebersih disediakan sabun dengan jumlah yang mencukupi. Tetapi bukan sabun cair dengan wadah khusus sehingga memungkinkan terjadi penularan penyakit,

Kondisi Lantai kamar mandi/WC kedap air, tidak licin, mudah dibersihkan dan kemiringannya cukup. Kondisinya cukup bersih dan terawat. Pada bagian luar kamar mandi /WC juga tersedia tempat cuci tangan yang dilengkapi kaca, tidak dilengkapi sabun dan pengering tangan. Jamban/ WC tipe jongkok dengan konstruksi leher angsa, dilengkapi air penggelontoran yang cukup. Tidak terdapat tanda himbauan bahwa pemakai harus mencuci tangan dengan sabun setelah menggunakan kamar mandi/WC.

Fasilitas Tempat Sampah yang tersedia terbuat dari bahan yang mudah dibersihkan dan kedap air, jumlahnya cukup dan dibuang setiap 2 kali sehari. Tempat sampah yang tersedia terbuat dari bahan yang mudah dibersihkan tapi tidak tertutup. Dari segi kuantitas, jumlah tempat sampah sebaiknya ditambah, sehingga memudahkan pengunjung yang akan membuang sampah.

ASPEK SOSIAL MANAJEMEN SANITASI DI PELABUHAN

Pada umumnya di dalam penerapan usaha Sanitasi TTU dibutuhkan pendekatan terhadap aspek sosial. Dalam pendekatan aspek sosial diperlukan penguasaan pengetahuan antara lain tentang kebiasaan hidup, adat istiadat, kebudayaan, keadaan ekonomi, kepercayaan, komunikasi dan motivasi.

Pendekatan aspek sosial membutuhkan berbagai pertimbangan terhadap berbagai macam faktor dari kehidupan masyarakat, diantaranya faktor :

- 1) Pengertian, Pengertian karyawan serta masyarakat tentang pentingnya serta manfaat suatu usaha kesehatan masyarakat sangat diperlukan sebab tanpa adanya pengertian ini segala sesuatunya akan berjalan tanpa arah. Pengertian merupakan dasar pokok guna memperoleh kesadaran dan pengetahuan untuk bertindak secara aktif.

2) Pendekatan, Pendekatan yang baik perlu dilakukan terutama terhadap Pimpinan maupun karyawan perusahaan TTU, biasanya dilakukan dengan memberikan beberapa bentuk motivasi. Titik pangkal suksesnya usaha Sanitasi TTU banyak bergantung dari cara pendekatan ini, baik secara formal ataupun secara informal. Terdapat pula pendekatan edukatif yang ditujukan kepada masyarakat umum dan masyarakat pengunjung TTU khususnya perlu diberi pengertian dan kesadaran tentang usaha sanitasi TTU. Dengan adanya pengertian dari pengunjung bahwa TTU yang tidak memenuhi persyaratan dapat menimbulkan terjadinya kecelakaan dan menyebarkan penyakit, maka pengunjung/masyarakat akan berusaha untuk senantiasa memelihara sanitasi TTU.

3) Kesadaran, Faktor kesadaran terutama karyawan Pelabuhan dibutuhkan sekali guna pelaksanaan program, tanpa kesadaran maka pelaksanaan program STTU akan mengalami hambatan dan kesulitan, karena tidak diketahui dan disadari akan pentingnya serta manfaatnya baik bagi perusahaan maupun bagi pribadi karyawan yang bersangkutan. Faktor kesadaran diperoleh sebagai hasil pendekatan edukatif melalui penyuluhan atau pendidikan kesehatan.

4) Partisipasi, Faktor partisipasi dari karyawan Pelabuhan secara total sangat dibutuhkan dalam rangka memelihara, membina dan mengembangkan usaha Sanitasi. Partisipasi penuh dari karyawan dapat diperoleh dan ditingkatkan dengan cara memberikah pengertian serta motivasi tentang pentingnya Higiene dan Sanitasi TTU dipandang dari segi kesehatan maupun dari segi bisnis operasional.

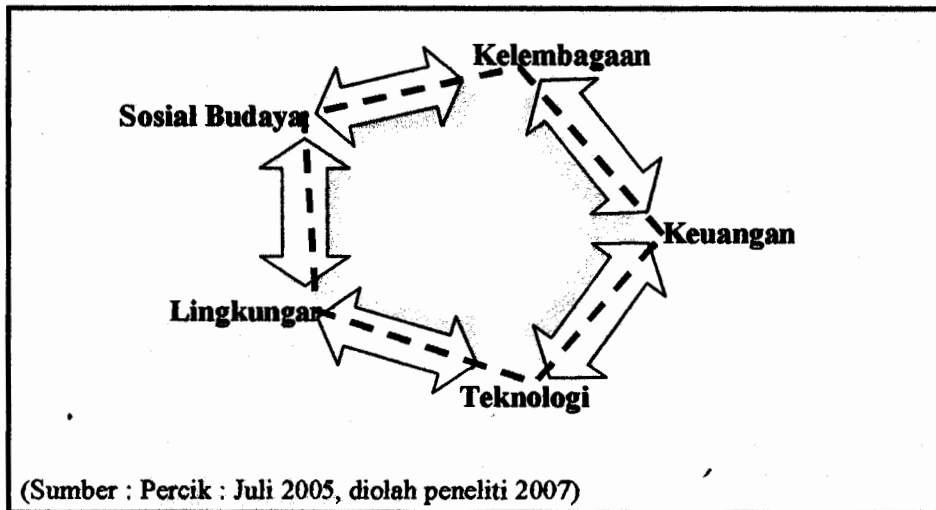
5) Kerja sama Usaha kesehatan masyarakat khususnya usaha Higiene dan Sanitasi TTU dibutuhkan adanya kerjasama dalam tim. Tanpa kerja sama yang baik maka usaha ini tidak akan berjalan dengan baik.

6) Keuangan, masalah perbaikan dan penyempurnaan tentu akan membawa konsekuensi biaya, tanpa ditunjang biaya yang memadai ini maka kegiatan ini tidak akan berjalan semestinya. Kegiatan ini sangat membutuhkan adanya anggaran khusus terutama guna pelaksanaan pemeliharaan.

KEBERLANJUTAN MANAJEMEN SANITASI DI PELABUHAN

Kegiatan pemeliharaan sanitasi di lingkungan pelabuhan hendaknya menjadi komitmen bagi seluruh pekerja di pelabuhan. Tentu saja hal ini diikuti dengan manajemen pemeliharaan sanitasi yang baik antara lain berupa kecukupan personil kebersihan, alokasi dana yang mencukupi dari pihak pengelola pelabuhan. Dalam penyelenggaraan Sanitasi Pelabuhan disamping juga perlu dipertimbangkan fungsi – fungsi manajemen yang meliputi perencanaan (*planning*), pengorganisasian (*organizing*), penggerakan (*actuating*) serta unsur pengawasan (*controlling*) yang baik.

Namun demikian untuk mencapai hasil yang baik dan keberlanjutan sistem sanitasi, upaya pengelolaan dan pemeliharaan perlu memperhatikan sistem yang lebih makro, dikaitkan dengan kondisi sarana dan prasarana sanitasi di luar lingkungan pelabuhan. Pengamatan dan penyesuaian terhadap kondisi di luar lingkungan pelabuhan akan menentukan keberlanjutan sistem secara jangka panjang.



Dorongan bagi peningkatan PAD yang tinggi telah mengakibatkan terabaikannya upaya pembinaan kelembagaan dan pembinaan kapasitas (*capacity building*) diantara pelaku dan stakeholder di pelabuhan. Ada berbagai faktor yang mempengaruhi keberlanjutan pembangunan sarana sanitasi di pelabuhan. Yang paling menonjol adalah berfungsi atau tidaknya lembaga pengelola pelabuhan yang sekaligus berfungsi sebagai pengelola sarana sanitasi.

Keberlanjutan pembangunan prasarana pada dasarnya ditentukan 5 (lima) variabel besar. Interaksi antara kelima variabel tersebut dikonseptualisasikan dalam pentagonal keberlanjutan layanan dan prasarana. Kelima variabel tersebut selain kelembagaan dan keuangan (iuran) adalah teknologi, lingkungan dan sosial budaya. Kelima variabel dalam beberapa kajian tidak selalu tampak secara serentak sebagai variabel yang menentukan keberlanjutan, tetapi sifatnya lebih kasus per kasus. Pada masing – masing sudut pentagonal adalah variabel penentu keberlanjutan pengelolaan sarana sanitasi di pelabuhan Tanjung Intan Cilacap.

PENUTUP

Chouguill (1996) memberikan pendekatan berupa prinsip – prinsip yang harus diperhatikan dalam pengelolaan prasarana, yang disarikan dari kajian teoritis dan pengalaman beberapa negara. Dalam pendekatannya, adanya keterkaitan antara peran atau intervensi pemerintah, khususnya pemerintah lokal dengan keterlibatan masyarakat dalam pengelolaan prasarana. Hal ini menguatkan konsep keberlanjutan yang tidak bisa melepaskan pendekatan partisipasi masyarakat di dalamnya dengan bantuan pemerintah dan pihak ketiga (fasilitator). Adapun prinsip – prinsip yang diutarakan oleh Chouguill yang kemudian diadaptasi untuk pengelolaan sarana sanitasi di pelabuhan Tanjung Intan Cilacap adalah sebagai berikut:

1. Harus disadari bahwa dalam pengelolaan prasarana terdapat dua sektor, yakni formal dan non formal.
2. Bahwa dalam pengelolaan sarana sanitasi dipelabuhan memerlukan teknologi yang mampu dioperasionalisasikan oleh pengelolanya sendiri (*port operator*) dan menggunakan prinsip *cost recovery*.
3. Prasarana sanitasi ini harus didesain dan dibangun dengan bantuan teknis dari luar sehingga dapat disatukan dalam sistem perkotaan, yang harus disadari memerlukan waktu yang lama.
4. Prasarana harus mampu melayani pengguna dengan tingkat dan kondisi